



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2006-27  
ОЭФ

В.И. Белоусов, С.И. Битюков, В.Н. Гришин, В.А. Качанов,  
Д.А. Константинов, В.А. Медведев, А.И. Мысник, П.С. Пономарев,  
А.Ф. Прудкогляд, П.А. Семенов, С.М. Степушкин, М.Н. Уханов,  
А.Г. Уфимцев, Ю.В. Харлов, Б.В. Чуйко

**ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА РАМПЭКС**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 2006

### Аннотация

Белюсов В.И., Битюков С.И., Гришин В.Н. и др. Изучение стабильности электромагнитного калориметра РАМПЭКС: Препринт ИФВЭ 2006–27. – Протвино, 2006. – 7 с., 7 рис., библиогр.: 6.

В эксперименте РАМПЭКС на ускорительном комплексе ИФВЭ проводится исследование поляризационных явлений во взаимодействии адронов, а именно, измерение односпиновой асимметрии в инклюзивном образовании нейтральных и заряженных адронов при взаимодействии неполяризованных адронных пучков с поляризованной мишенью в реакциях  $\pi^- + p_{\uparrow}^- > h + X$  при 40 ГэВ/с и  $p + p_{\uparrow}^- > h + X$  при 70 ГэВ/с, где  $h$  — адрон.

Представлены результаты измерений кратковременной и долговременной стабильности аппаратуры экспериментальной установки.

### Abstract

Belousov V.I., Bitiykov S.I., Grishin V.N. et al. Study on the Stability of the Electro-Magnetic Calorimeter RAMPEX: IHEP Preprint 2006–27. – Protvino, 2006. – p. 7, figs. 7, refs.: 6.

Experiment RAMPEX at the IHEP acceleration facility is devoted for polarization phenomena studies in hadron interactions. The experiment measures single-spin asymmetries in inclusive hadron production off the unpolarized beam and polarized target interactions in reactions  $\pi^- + p_{\uparrow}^- > h + X$  at 40 GeV/c and  $p + p_{\uparrow}^- > h + X$  at 70 GeV/c, where  $h$  is hadron. The results on the short and long term stability of the electro-magnetic calorimeter are presented.

## Вступление

В эксперименте РАМПЭКС [1] на ускорительном комплексе ИФВЭ проводится исследование поляризационных явлений во взаимодействии адронов, а именно, измерение односпиновой асимметрии в инклюзивном образовании нейтральных и заряженных адронов при взаимодействии неполяризованных адронных пучков с поляризованной мишенью в реакциях  $\pi^- + p \uparrow \rightarrow h + X$  при 40 ГэВ/с и  $p + p \uparrow \rightarrow h + X$  при 70 ГэВ/с, где  $h$  — адрон.

Предсказываемые значения односпиновых асимметрий имеют малые величины [2], поэтому так важно уделять особое внимание изучению как кратковременных, так и долговременных нестабильностей в работе аппаратуры эксперимента. Эта необходимость диктуется условиями проведения эксперимента. Результаты, полученные на установке РАМПЭКС, позволяют заключить, что по тестовым измерениям на пучке частиц можно получить оценку чувствительности эксперимента и подготовить его к финальным измерениям с набором статистики на поляризованной мишени.

### 1. Описание установки РАМПЭКС

Установка РАМПЭКС представляет собой одноплечевой спектрометр с электромагнитным калориметром для регистрации гамма-квантов многоканальными черенковскими счетчиками и адронным калориметром. Подробно аппаратура установки описана в [1].

Изучаемый в данной работе электромагнитный калориметр состоит из 1344 ячеек типа сэндвич свинец-сцинтиллятор с соотношением по толщине 3 и 5 мм соответственно. Размеры одной ячейки  $38 \times 38$  мм<sup>2</sup>, длина модуля — 22 радиационные длины. Свет из слоев сцинтиллятора передается на фотодетектор через пластину световода, которая также является сместителем спектра для повышения эффективности регистрации света фотодетектором.

Для компенсации долговременной нестабильности параметров электромагнитного калориметра используется мониторинговая система на светоизлучающих диодах [3, 4] Мониторная система представляет собой генератор световых импульсов и пучок оптических волокон. Свет от генератора инжектируется в каждый канал электромагнитного калориметра через оптическое волокно, рассеивается на матовом отверстии в первом слое сцинтиллятора и

собирается в световоде-смесителе спектра, через который подается на фотоэлектронный умножитель (рис. 1).

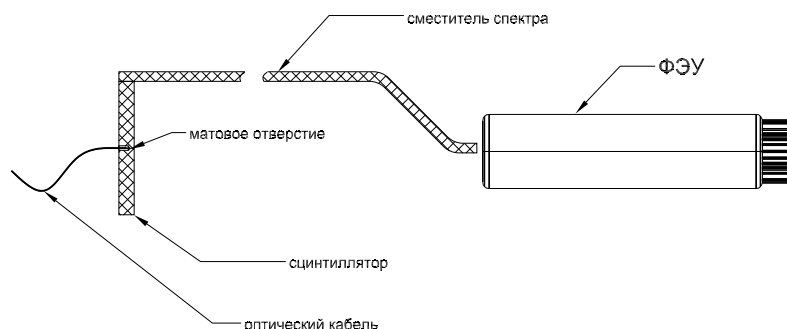


Рис. 1. Структурная схема мониторинга одной ячейки калориметра.

В качестве источника света в генераторе световых импульсов используется красный сверхъяркий светодиод. Спектр излучения красного светодиода не является оптимальным для изучаемого детектора, так как не совпадает с излучением световода-смесителя спектра в зеленой области. Выбор красного светодиода объясняется недоступностью зеленых светодиодов необходимой мощности на момент построения детектора в 1998 г. Оптическое волокно на основе полистирола было произведено по спецзаказу в г. Держинске в рамках подготовки эксперимента НЕПТУН в 1990 г.

Для формирования светового импульса на светодиоде была разработана электронная схема с управлением амплитудой выходного импульса. Выходной каскад схемы, выполненный на полевом транзисторе по схеме повторителя напряжения, защищен авторским свидетельством [5].

Для калибровки энергетической шкалы электромагнитного калориметра на пучке электронов известной энергии калориметр перемещается на прямой пучок и устанавливается на калибровочную подставку. Используемый для запуска считывания триггерный сигнал при этом представляет собой совпадение трех пучковых сцинтилляционных счетчиков (рис. 2). Количество триггеров за один цикл ускорителя при описываемых измерениях не превышало 1000. Сквозность загрузки детектора определялась цикличностью работы ускорителя: 1 секунда вывод пучка из 10-секундного цикла. Сигнал с фотодетектора регистрировался зарядочувствительным АЦП (ЛЭ-61М производства отделения электроники ИФВЭ) с чувствительностью 250 fC/отсчет.

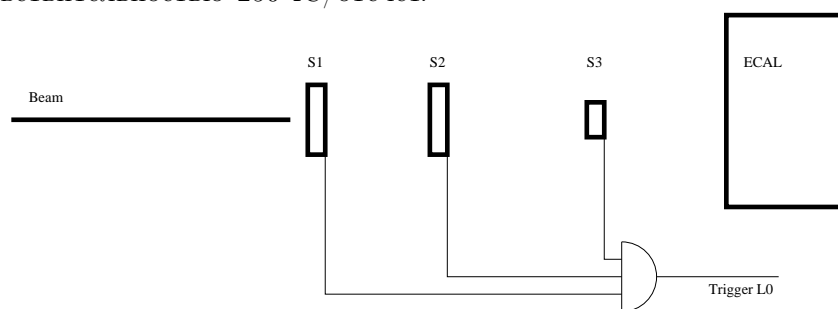


Рис. 2. Схема расположения калориметра при калибровке. S1, S2, S3 — пучковые сцинтилляционные счетчики.

## 2. Методика измерений и результаты

Задача состояла в изучении долговременной и кратковременной стабильности отклика электромагнитного калориметра на сигнал от электрона известной энергии. Эта задача решалась следующим образом. В калориметре была выбрана область размером 5x5 ячеек, где амплитуда мониторинжных сигналов была выше 1000 отсчетов АЦП. Эта область была откалибрована на пучке электронов с энергией 7 ГэВ. После этого пучок электронов направлялся в центральную ячейку области, и в течение нескольких десятков часов регистрировался сигнал от электрона.

Амплитудный спектр сигнала от электромагнитного ливня в выбранной ячейке калориметра, когда пучковая частица попадает близко к ее центру, т.е. энерговыделение в центральной ячейке составляет больше 0.65 от суммарного энерговыделения, представлен на рис. 3. Вариации этого сигнала дают прямой ответ на вопрос о стабильности всего тракта регистрации.

На рис. 4 представлена развертка во времени амплитуды сигнала от электрона с усреднением за 10 минут. Из спектра усредненных за 10 минут амплитуд сигнала от электрона можно оценить величину систематического дрейфа аппаратуры калориметра как отношение RMS к усредненной за все время измерений амплитуде. Полученные значения в отсчетах АЦП  $RMS = 2,4$ ,  $\langle E \rangle = 489$ , т.е. систематический дрейф не превышает 0,5%.

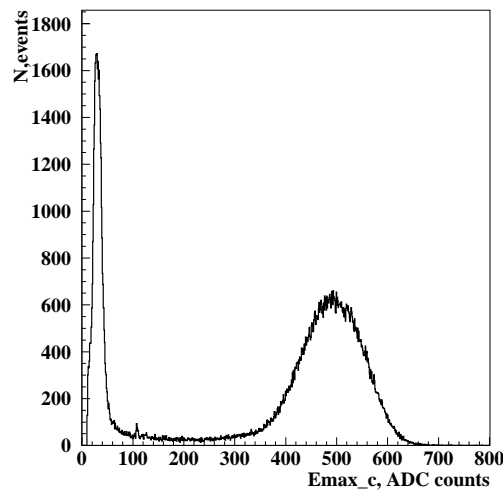


Рис. 3. Энергетический спектр, регистрируемый одной ячейкой калориметра при условии максимального энерговыделения. Амплитуда в отсчетах АЦП.

Изменения коэффициента передачи канала калориметра отчетливо видны при наблюдении за амплитудой сигнала мониторирующего светодиода (рис. 5). Наиболее очевидной причиной таких вариаций может быть зависимость усиления ФЭУ от интенсивности пучка электронов из У-70, что подтверждается поведением мониторингового сигнала на участке 30–50, когда пучок отсутствовал.

Зависимость амплитуды мониторингового сигнала от количества триггеров за цикл ускорителя, которое пропорционально интенсивности пучка, представлена на рис. 6. Величина коэффициента корреляции данной зависимости составляет 0,69. Зависимость отклика ка-

лориметра на электрон от интенсивности падающего пучка не так наглядна, так как вариации в 1% укладываются в статистическую ошибку измерения. Однако коэффициент корреляции отклика калориметра и количества триггеров за цикл, который составляет 0,63, не оставляет сомнения в существовании такой зависимости.

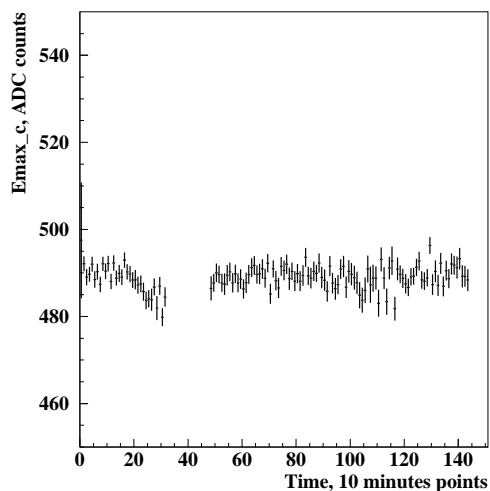


Рис. 4. Развертка во времени измеряемой калориметром энергии, усредненной за 10 минут. Амплитуда в отсчетах АЦП, одна точка по оси времени соответствует 10 минутам.

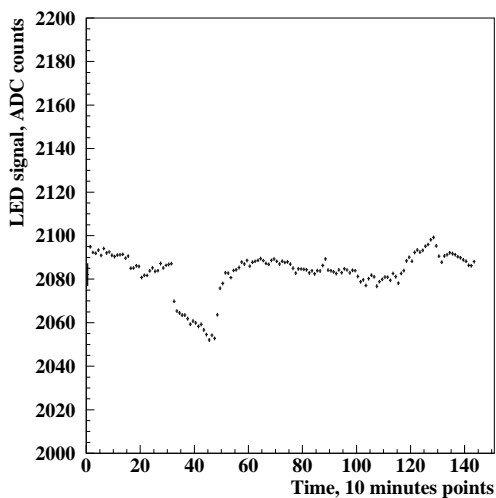


Рис. 5. Долговременная стабильность мониторирующего сигнала. Амплитуда в отсчетах АЦП, одна точка по оси времени соответствует 10 минутам.

Изменения отклика калориметра в течение одного цикла У-70 позволяют оценить кратковременную нестабильность ЕСАЛ.

На рис. 7 представлено распределение средней амплитуды сигнала калориметра по событиям внутри сброса ускорителя. При построении этой гистограммы использовался следующий метод. Все амплитуды при попадании пучкового электрона в выбранную

ячейку калориметра первых десяти событий в сбросах попадают в первую ячейку гистограммы, следующих десяти событий — во вторую и т.д.

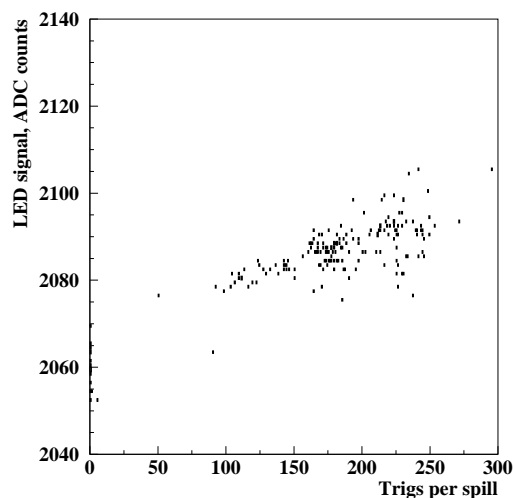


Рис. 6. Зависимость измеряемой амплитуды мониторирующего сигнала от интенсивности пучка (количества принимаемых за один цикл ускорителя триггеров).

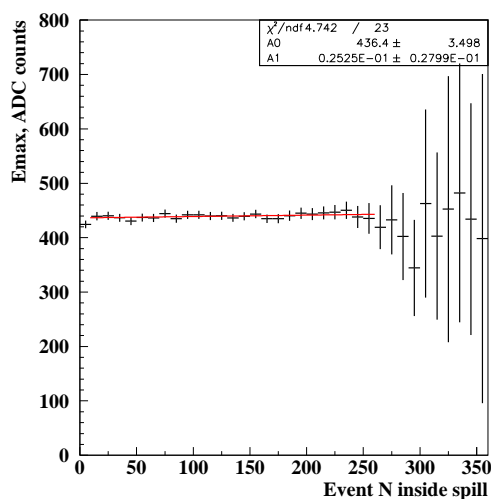


Рис. 7. Распределение регистрируемой энергии, усредненной по циклам ускорителя, по событиям внутри сброса. Энергия в отчетах АЦП.

Отдельно копится гистограмма количества таких амплитуд для нормировки на одно событие. Для оценки кратковременной стабильности калориметра по этой гистограмме определены минимальное и максимальное значения фитирующей линейной функции за время сброса. Оценка кратковременной стабильности ограничена статистической ошибкой и составляет  $(3\pm 3)\%$ . Оценка сверху среднего тока ФЭУ за время сброса составляет 0,1 мкА. С учетом этого можно отметить, что результаты проведенных измерений не противоречат стендовым исследованиям ФЭУ такого же типа ([6]).

### 3. Результаты

В декабре 2004 г. на установке РАМПЭКС на пучке электронов с энергией 7 ГэВ была проведена серия измерений долговременной стабильности отклика электромагнитного калориметра на сигнал от электрона. Измерения проводились несколькими сериями. Максимальная продолжительность одной из серий — пятнадцать часов. Поскольку при измерении асимметрии набор статистики на поляризованной мишени производится несколькими сериями, каждая из которых длится около 30 часов, то длительность серии в пятнадцать часов позволяет дать адекватную оценку стабильности детектора.

Обработка полученных в ходе облучения данных показала, что вариации отклика калориметра на электрон носят в основном статистический характер. Систематический дрейф аппаратуры всего калориметрического комплекса не превышает величины 0,5% за пятнадцать часов измерений. Одновременно с сигналом от электрона записывались сигналы от мониторинжной системы, основу которой составляют генераторы световых импульсов на светоизлучающих диодах. Вариации мониторинжных сигналов носят явно нестатистический характер, хотя амплитуда этих вариаций не превышает 1%. При этом наблюдается зависимость амплитуды мониторинжных сигналов от интенсивности падающего пучка электронов.

Кроме долговременной нестабильности, полученные в ходе экспозиции данные позволяют дать оценку для величины кратковременной нестабильности детектора. Этот эффект связан с временной структурой цикла ускорителя: пучок на установку выводится в течение одной секунды, далее следует пауза около восьми секунд. Поскольку загрузка фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) циклическая, то можно было бы ожидать изменение отклика детектора от начала цикла к его концу. Такие эффекты давно известны и достаточно хорошо изучены для различных типов ФЭУ. Их величина может достигать до 20% в зависимости от загрузки и марки ФЭУ (ФЭУ-84-3 в нашем случае). Анализ полученных данных показал, что в нашем случае кратковременная нестабильность не превышает  $(3 \pm 3)\%$  в течение вывода пучка на установку (одна секунда).

Необходимо отметить, что измерения проводились в реальных условиях сеанса на ускорителе У-70, т. е. вариации интенсивности пучка не создавались искусственно. Однако в эксперименте РАМПЭКС калориметр не будет находиться на прямом пучке, значит, интенсивность будет распределена на весь калориметр, а не на один канал. Таким образом, полученные значения стабильности являются верхней оценкой при самом жестком режиме работы калориметра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 04-02-16381-а).

### Список литературы

- [1] S.Akimenko et al. A study of the one-spin asymmetries in  $pp_{\uparrow}$  and  $\pi^{-}p_{\uparrow}$  interactions at 70 and 40 GeV/c (proposal of the experiment RAMPEX). Препринт ИИЭР 97-58, 1997.
- [2] D.L. Adams et al. Preprint ИИЭР 94-88, Phys.Rev. D53: 4747-4755, 1996.



- [3] Васильев А.Н., Гончаренко Ю.М., Грачев О.А., Кормилицын В.А., Медведев В.А., Соловьев Л.Ф., Чуйко Б.В. Контроль за энергетической шкалой электромагнитного калориметра.– Препринт ИФВЭ 97-60, Протвино, 1997
- [4] Зерний Ю.В., Медведев В.А., Уханов М.Н. Способ мониторингования энергетической шкалы электромагнитного калориметра эксперимента РАМПЭКС. Сборник научных трудов. – М.: МГАПИ, 2003, стр. 148-153.
- [5] Медведев В.А. Повторитель напряжения. Государственный реестр изобретений СССР. Авторское свидетельство N1799220, H03 F 3/50, 8 октября 1992 г.
- [6] Акопджанов Г.А., Инякин А.В., Шувалов Р.С. Кратковременная нестабильность фотумножителей. Препринт ИФВЭ 78-127, Протвино, 1978.

*Рукопись поступила 26 декабря 2006 г.*

В.И. Белоусов, С.И. Битюков, В.Н. Гришин и др.  
Изучение стабильности электромагнитного калориметра РАМПЭКС.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **ИТЭХ**.

Редактор Н.В.Ежела.

---

Подписано к печати 19.02.07. Формат 60 × 84/8.  
Офсетная печать. Печ.л. 1. Уч.-изд.л. 0,8. Тираж 80. Заказ 29.  
Индекс 3649. ЛР т020498 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142284, Протвино Московской обл.

