

УДК 539.1.074

КАЛИБРОВКА МОНИТОРА СВЕТИМОСТИ УСТАНОВКИ HERMES

Т. Бениш¹, С. Бернрайтер¹, Е. Г. Девицин, В. А. Козлов, С. Ю. Поташов,
К. Рит¹, А. Р. Теркулов, К. Вайскопф¹

Излагается процедура калибровки монитора светимости, используемого в лаборатории DESY (г. Гамбург) в эксперименте HERMES на внутренней поляризованной газовой мишени. Монитор является электромагнитным калориметром, состоящим из 24 черенковских кристаллов NBW ($\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$), и регистрирует электроны с энергией 27.5 ГэВ пучка ускорителя HERA, упруго рассеянные на атомных электронах мишени (мёллеровское рассеяние).

Монитор светимости эксперимента HERMES [1] является электромагнитным калориметром с радиатором из 24 черенковских кристаллов NBW ($\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$), считываемых фотоумножителями (ФЭУ) Hamamatsu R4125Q. Он состоит из двух детекторов, расположенных симметрично относительно пучка электронов (см. рис. 1). Первоначальная калибровка монитора была проведена на тестовом пучке электронов с энергией 1 – 6 ГэВ в DESY. При этом были получены калибровочные коэффициенты, которые, вообще говоря, могут меняться со временем из-за нестабильности усиления ФЭУ, прозрачности кристаллов, считывающей электроники и т.д. Следовательно, калибровка калориметра должна периодически повторяться, чтобы обеспечить правильное измерение энергии падающих частиц. Это необходимо, по крайней мере, по двум причинам: чтобы правильно установить порог дискриминатора для измерения светимости, а также для точных измерений, например, при регистрации рассеянного электрона пучка в реакции рождения J/Ψ в целях полной реконструкции кинематики события.

¹Физический институт, Университет Эрланген-Нюрнберг, 91058 Эрланген, Германия.

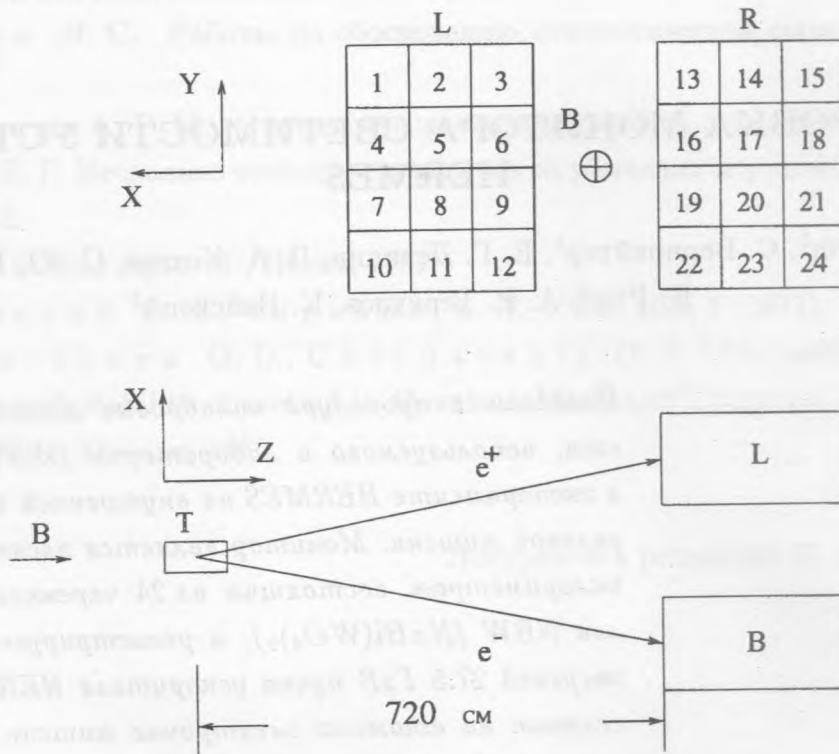


Рис. 1. Схема монитора светимости: *B* – пучок электронов ускорителя, *T* – газовая мишень, *L* – левый детектор, *R* – правый детектор.

Калибровочная процедура состоит из периодического (раз в неделю) определения набора калибровочных коэффициентов $\{c_i\}$, а также набора средних пьедестальных значений $\{P_i\}$, так что энергия, выделенная в калориметре, имеет вид

$$E = \sum c_i(A_i - P_i), \tag{1}$$

где $i = 1 - 12$ для левого и $i = 13 - 24$ для правого детектора.

Калибровка осуществляется итерационной процедурой минимизации, описанной ниже. Для калибровки пользуются электроны пучка, упруго рассеянные на ядре мишени (см. рис. 2). Так как большая часть событий имеет утечку ливня в калориметре, первым шагом является реконструкция полной энергии с использованием измеренной выделенной энергии. В случае упругого рассеяния уравнение (1) приобретает вид (верный с точностью до экспериментального разрешения детектора)

$$\sum c_i(A_i - P_i) = E_0, \tag{2}$$

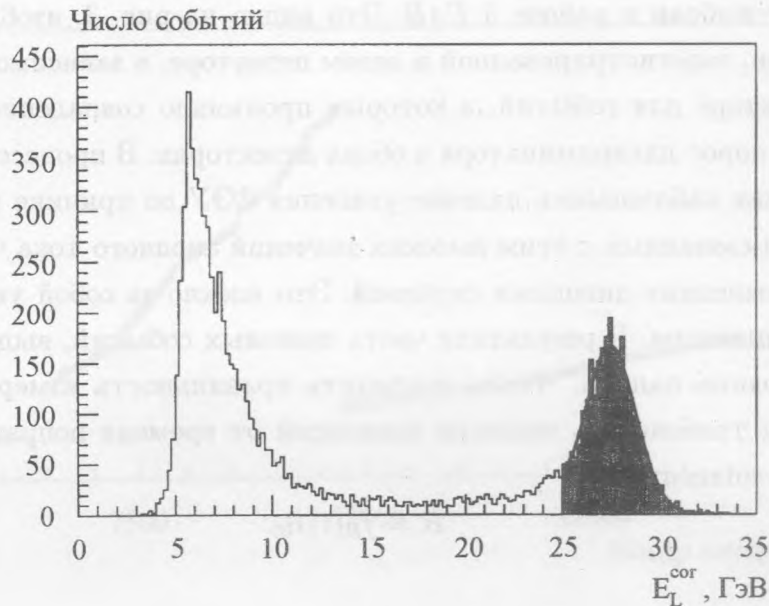


Рис. 2. Энергетическое распределение электронов, упруго рассеянных на ядре мишени.

где E_0 есть энергия частиц пучка (27.5 ГэВ).

Для каждого n -го события, годного для калибровки, вычисляется коэффициент

$$c_{i,n} = c_{i,old} f(i, E_n^{rec} - E_0), \quad (3)$$

где n — номер события, $f(i, 0) = 1$ и E_n^{rec} — реконструированная энергия для n -го события, а $c_{i,old}$ — калибровочный коэффициент для канала i из предыдущей итерации.

Существуют разные алгоритмы, различающиеся выражением для $f(i, a)$ [2]. Мы использовали следующий функционал:

$$f(i, E_n^{rec} - E_0) = 1 + \left(1 - \frac{E_n^{rec}}{E_0}\right) \frac{w_{i,n}}{Sw_{i,n}}, \quad (4)$$

где $w_{i,n} = kE_{i,n}^2$ — вес данного события для i -го канала, $Sw_{i,n} = Sw_0 + \sum_{k=1}^n w_{i,k}$ — сумма весов. Методом Монте – Карло были определены следующие значения параметров: $Sw_0 = 0.7$ и $k = 0.05$.

Калибровочный шаг содержит 10 событий. Среднее значение десяти $c_{i,n}$ для каждого канала i использовалось как новый $c_{i,old}$ для следующего шага.

Этот алгоритм был сначала успешно протестирован на смоделированных событиях. Калибровочная процедура обычно сходится после примерно 50 шагов. Точность такой калибровки лучше 0.5%.

Для отделения фоновых событий от полезных аппаратно используется дискриминатор. Его порог выбран в районе 5 ГэВ. Это видно на рис. 3, изображающем распределение энергии, зарегистрированной в левом детекторе, в зависимости от ее значения в правом детекторе для событий, в которых произошло совпадение энерговыделения, превышающее порог дискриминатора в обоих детекторах. В процессе работы монитора в 1995-1996 годах наблюдалось падение усиления ФЭУ по причине высоких загрузок в эксперименте и связанных с этим высоких значений анодного тока ФЭУ, приводивших к обеднению последних диодных ступеней. Это влекло за собой увеличение калибровочных коэффициентов. В результате часть полезных событий, выделяемая дискриминатором, постоянно падала. Чтобы сохранить правильность измерения светимости в таких условиях требовалось введение зависящей от времени поправки в регистрируемую частоту совпадений R_0 :

$$R = f_R(t)R_0. \quad (5)$$

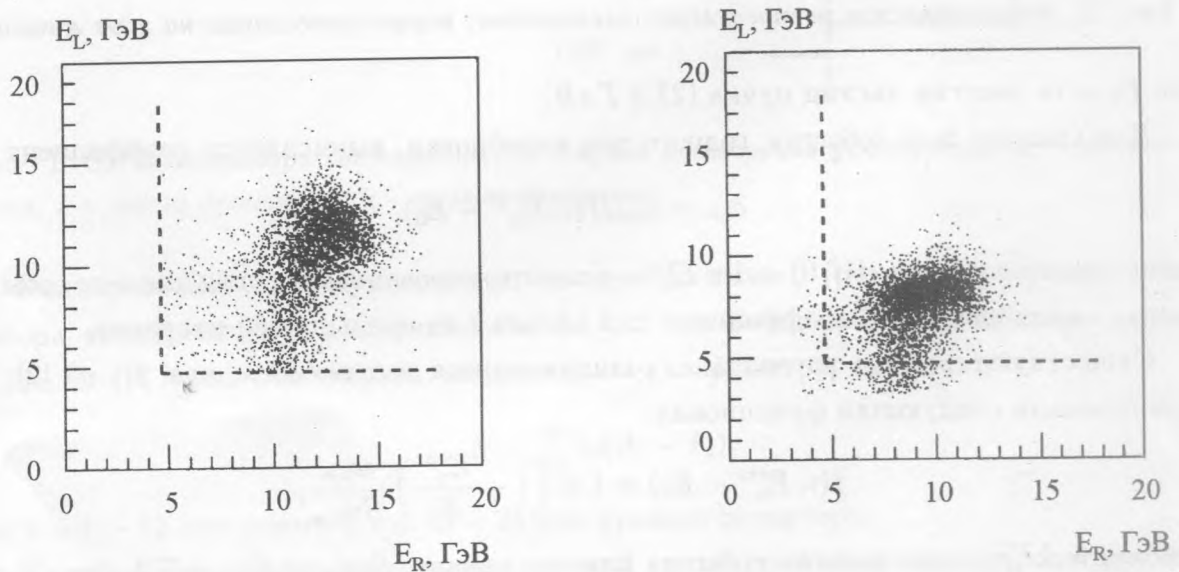


Рис. 3. Энергия, выделенная в левом калориметре, в зависимости от энергии, выделенной в правом калориметре для совпавших событий выше порога триггера.

Рис. 4. Моделирование уменьшения усиления ФЭУ в энергетическом спектре. Содержит те же события, что и на рис. 3, но со смоделированным падением усиления ФЭУ.

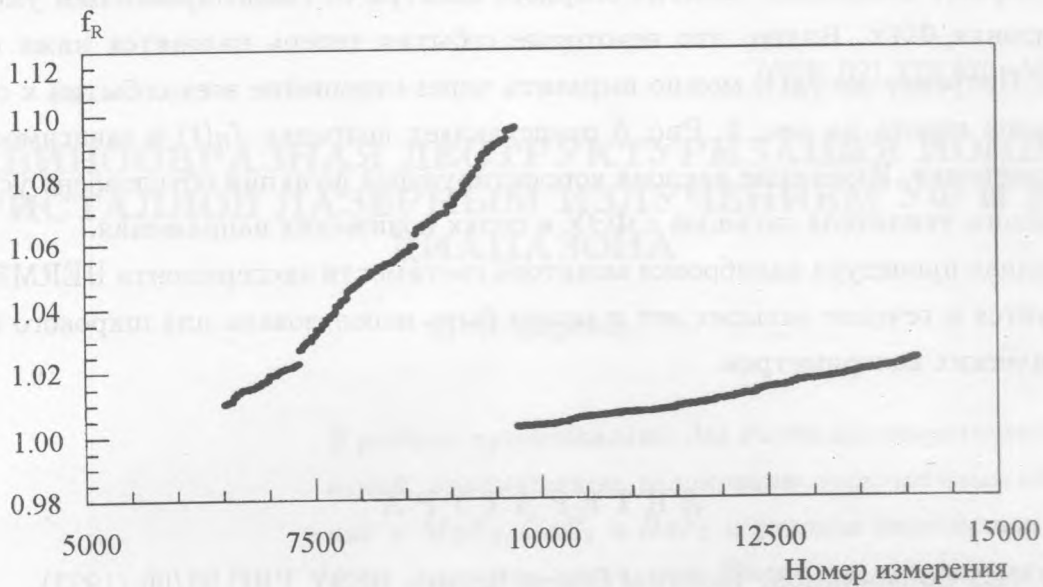


Рис. 5. Поправка f_R в зависимости от номера измерения для периода сбора данных 1996 года. Разрыв между измерениями 9730 и 9731 связан с установкой усилителя.

Поправка $f_R(t)$ вычислялась следующим образом. В качестве эталонного энергетического спектра полезных событий был взят спектр в начале эксперимента. Энергия E_j события j определялась согласно (1) скорректированными с учетом пьедесталов сигналами АЦП A_{ij} :

$$E_j = \sum_{i=1}^{N_k} c_i^0 A_{ij}. \quad (6)$$

Используя калибровочные коэффициенты c_i^0 эталонного набора событий и коэффициенты c_i любого последующего набора, можно определить относительное изменение усиления каждого канала:

$$g_i = c_i^0 / c_i. \quad (7)$$

Уменьшение усиления ФЭУ в этом случае может быть смоделировано с помощью опорного спектра, в вычислении энергии событий которого калибровочные коэффициенты c_i^0 заменяются на $c_i^0 g_i$:

$$E'_j = \sum_{i=1}^{N_k} g_i c_i^0 A_{ij}. \quad (8)$$

Рис. 4 содержит совпавшие события опорного спектра со смоделированным уменьшением усиления ФЭУ. Видно, что некоторые события теперь находятся ниже порога триггера. Поправку же $f_R(t)$ можно выразить через отношение всех событий к оказавшимся выше порога на рис. 4. Рис. 5 представляет поправку $f_R(t)$ в зависимости от номера измерения. Изменение наклона корректирующей функции обусловлено установкой линейного усилителя сигналов с ФЭУ в целях понижения напряжения.

Описанная процедура калибровки монитора светимости эксперимента HERMES эксплуатируется в течение четырех лет и может быть использована для широкого класса годоскопических калориметров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] HERMES Collaboration, Technical Design Report, DESY PRC 93/06 (1993).
HERMES Collaboration, The HERMES Spectrometer, DESY 98-057, e-print hepex/9806008, Nucl. Instrum. Meth., **A417**, 230 (1998).
- [2] Binon F., Буянов V. M., Donskov S. V. et al. Nucl. Instr. Meth., **A248**, 86 (1986).

Поступила в редакцию 14 января 1999 г.