Московский физико-технический институт Физтех-школа Фундаментальной и Прикладной Физики Кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии

Исследование отклика супермодуля переднего адронного калориметра установки CBM на тестовых пучках мюонов и адронов

Выпускная квалификационная работа на степень бакалавра студента 383 группы

Карпушкина Николая Михайловича

Научный руководитель к.ф-м.н. Губер Ф.Ф

Москва 2019

План

- Эксперимент CBM и калориметр PSD
- Структура PSD и тесты супермодуля на пучках адронов
- * Процедура фитирования осциллограмм
- * МНК Прони и оценка качества фита
- Новая методика мюонной калибровки

Эксперимент CBM@FAIR



Эксперимент CBM@FAIR





- ✤ Центральность
- Ориентация плоскости реакции

44 модуля, отверстие для пучка, вес~22 тонн.

Структура модуля калориметра





- ✤ Поперечные размеры 20х20ст²;
- * Полная длина 165cm ~ 5.6 λ_{int};
- Продольная сегментация 10 секций;
- * 10 фотодетекторов на модуль;
- ✤ Фотодетекторы SiPM.



Тесты супермодуля PSD

FEE

T10 beamline

Супермодуль – сборка из модулей 3x3 Габариты 600x600x1650 mm³ Масса - 5 тонн







Задачи:

- Калибровка модулей на пучковых мюонах;
- Изучение отклика супермодуля
 PSD на пучке адронов

Фотодиоды, FEE и считывающая электроника

Front-End-Electronics:



10 каналов: двухкаскадные усилители; HV каналы; Калибровочный светодиодный источник.

Фотодетекторы:



Hamamatsu MPPC: size – 3x3 mm²; pixel -10x10 µm²; PDE~12%.



Считывающая электроника: 64-канальная плата ADC64s2, 62.5MS/s (AFI Electronics, ОИЯИ, Дубна).

ТОГ идентификация частиц



Разрешение и линейность отклика



Зачем нужно фитирование осциллограмм

Короткие сигналы → Мало точек на сигнал → Большие флуктуации заряда



Преимущества процедуры фитирования:

10

- Более правильное определение амплитуды и заряда
- Возможность работы с малыми сигналами на уровне шума
- Идентификация событий с наложением сигналов и электрической наводкой
- Восстановление истинного сигнала

МНК Прони

Позволяет сопоставить набору экспериментальных значений x[n] p-членную модель экспоненциальных компонент:

$$\hat{x}[n] = \sum_{k=1}^{p} A_k \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)(n-1)T + j\theta_k] = \sum_{k=1}^{p} h_k z_k^{n-1}$$

 $n = 1, 2, ..., N, j^2 = -1, T$ - период дискретизации. $h_k = A_k \exp(j\theta_k), \quad \mathbf{z}_k = \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)T].$

Объекты оценивания: амплитуды экспонент A_k , коэффициенты затухания α_k , гармонические частоты f_k и начальные фазы θ_k .

 $\succ \mathbf{Z}_{k}$

3 этапа алгоритма:

- 1. Составление и решение СЛУ р×р
- 2. Факторизация полинома
- 3. Составление и решение СЛУ (p+1)×(p+1) $\longrightarrow h_k$

На 3 порядка быстрее чем MINUIT



Оценка качества фита

Коэффициент детерминации*

$$R^{2} = \frac{\sum_{n=1}^{N} (x[n] - \hat{x}[n])^{2}}{\sum_{n=1}^{N} (x[n] - \overline{x})^{2}}$$

x[n] и $\hat{x}[n]$ экспериментальные и модельные значения переменной, соответственно. \overline{x} – экспериментальное среднее.

Скорректированный коэффициент детерминации*

$$R_{adj}^2 = R^2 \frac{N-1}{N-\lambda}$$

N – число измерений, λ – число модельных параметров.



Оценка качества фита

Коэффициент детерминации*

$$R^{2} = \frac{\sum_{n=1}^{N} (x[n] - \hat{x}[n])^{2}}{\sum_{n=1}^{N} (x[n] - \overline{x})^{2}}$$

x[n] и $\hat{x}[n]$ экспериментальные и модельные значения переменной, соответственно. \overline{x} – экспериментальное среднее.

Скорректированный коэффициент детерминации*

$$R_{adj}^2 = R^2 \frac{N-1}{N-\lambda}$$

N – число измерений, λ – число модельных параметров.



Новая методика мюонной калибровки

Космические мюоны выделяют различное количество энергии в секциях калориметра в зависимости от положения и направления треков частиц. Это должно быть учтено при проведении энергетической калибровки.



14



Методика калибровки:

- Реконструировать треки мюонов, используя сигналы, отобранные с помощью FIT QA
- Определить толщину сцинтиллятора, пройденного треком в каждой ячейке
- Ввести коррекцию при расчете энерговыделения

Восстановление трека мюона



$$\sum_{n=1}^{N} \left(\frac{(\hat{\vec{r}}[n], \vec{a})}{|\vec{a}|} \right)^2 \to \max \qquad \varphi = \sum_{n=1}^{N} \hat{r}_i a_i \hat{r}_j a_j \to \max$$

Максимизация квадратичной формы φ на единичном векторе \vec{a} . Квадратичная форма максимальна на собственном векторе, соответствующем максимальному собственному значению.

✤ Отбор сработавших секций по FIT QA

Сдвиг с.о. в центр, тяжести системы

$$\vec{R}_{C.G.} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} E[n] \vec{r}[n]$$

• Поиск экстремума

 $\sum_{n=1}^{N} \left(\hat{\vec{r}}^2[n] - \left(\frac{(\hat{\vec{r}}[n], \vec{a})}{|\vec{a}|} \right)^2 \right) \to min$

$$M = \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^{N} r_n^{x} r_n^{x} & \sum_{n=1}^{N} r_n^{x} r_n^{y} & \sum_{n=1}^{N} r_n^{x} r_n^{z} \\ \sum_{n=1}^{N} r_n^{y} r_n^{x} & \sum_{n=1}^{N} r_n^{y} r_n^{y} & \sum_{n=1}^{N} r_n^{y} r_n^{z} \\ \sum_{n=1}^{N} r_n^{x} r_n^{z} & \sum_{n=1}^{N} r_n^{y} r_n^{z} & \sum_{n=1}^{N} r_n^{z} r_n^{z} \end{pmatrix}$$

Коррекция энерговыделения



Скорректированный заряд рассчитывается так, как если бы частица прошла прямо через секцию, пересекая 6×4 мм сцинтиллятора. В случае, когда трек не прошел через секцию, скорректировать заряд невозможно. В таком случае скорректированное энерговыделение считается равным нулю.

Выводы

- Представлены результаты измерений отклика супермодуля PSD на адронных пучках.
- * Разработан новый метод фитирования сигналов.
- 🛠 Показана процедура оценивания качества фита.
- Реализована новая методика энергетической калибровки.

Спасибо за внимание!

Backup

Эксперимент СВМ



Dipole Magnet

отклонение траекторий заряж. частиц **STS** (Silicon Tracking System) трекинг заряженных частиц **MVD** (Micro-Vertex Detector) реконструкция вторичных вершин **RICH** (Ring Imaging Cherenkov) **TRD** (Transition Radiation Detector) идентификация электронов **TOF** (Time of Flight detector) идентификация адронов **MUCH** (MUon CHambers) идентификация и трекинг мюонов **ECAL** (Electromagnetic Calorimeter) идентификация электрон/фотон **PSD** (Projectile Spectator Detector) геометрия столкновения

CERN PS T9 beamline

Beam momenta: 1-10 GeV/c Particle ID: Cherenkov gas counter Position of PSD: fixed

CERN PS T10 beamline

Beam momenta: 1-6 GeV/c Particle ID: TOF system Position of PSD: movable platform

Pileup rejection

- * Minimum distance between the pileup and the true signal \geq length of the leading edge
- ✤ Edge sensitive digital filter
- Pileup rejection and the true signal recovery