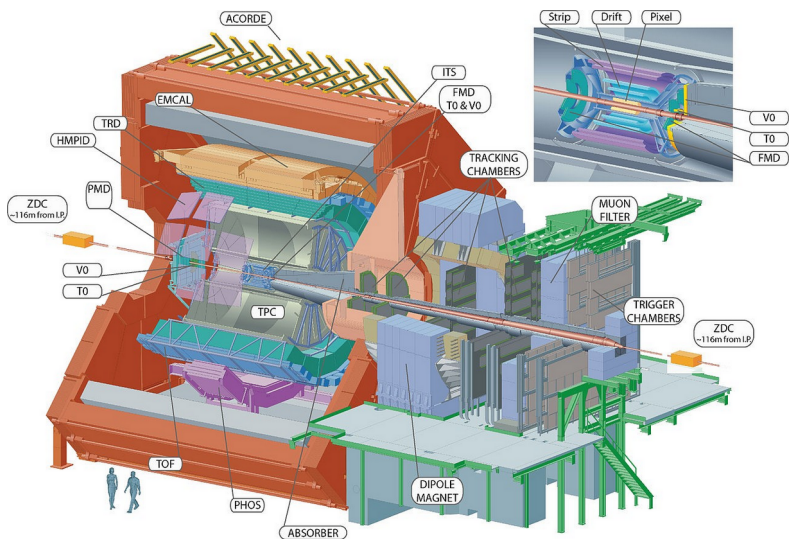


Оценка количества материала перед калориметром PHOS детектора ALICE

Студент :Арляпов Е. Р.

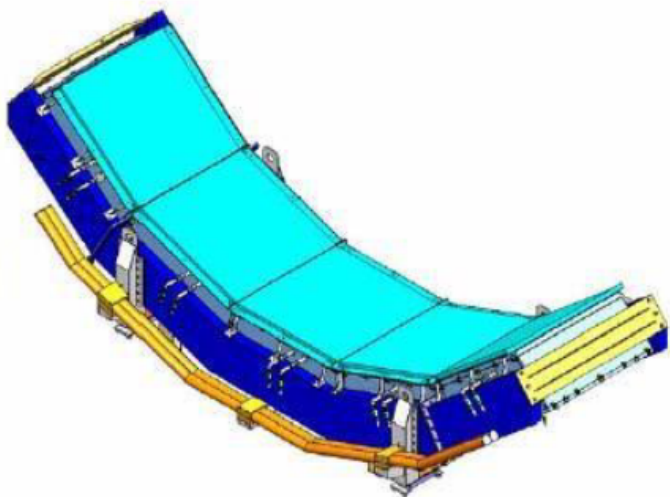
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Пересунько Д.Ю.

1. Введение



Детекторный комплекс ALICE — предназначен для изучения процессов, протекающих в сильно взаимодействующей материи в условиях сверхвысокой плотности энергии. Исследуются столкновения тяжелых ядер (Pb-Pb, Pb-p)

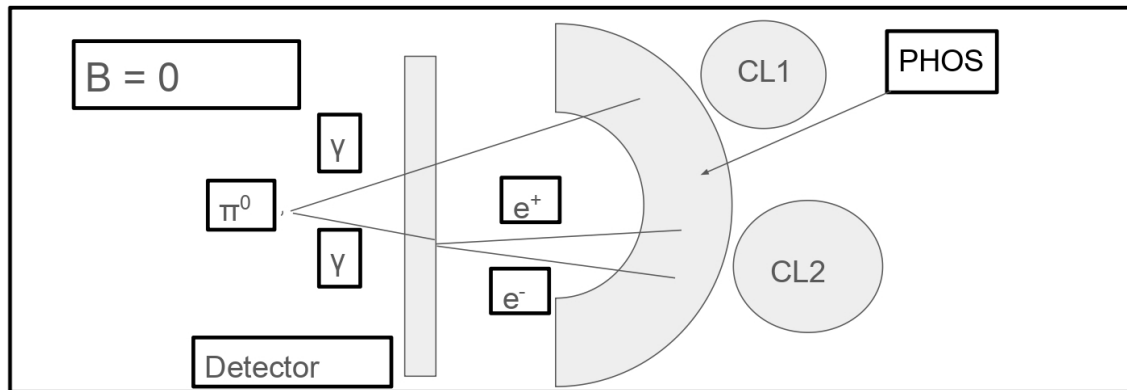
Фотонный спектрометр PHOS представляет собой электромагнитный калориметр с высоким пространственным и энергетическим разрешением. Назначение — реконструкция прямых фотонов, а также π^0 - и η -мезонов по их двухфотонным распадам



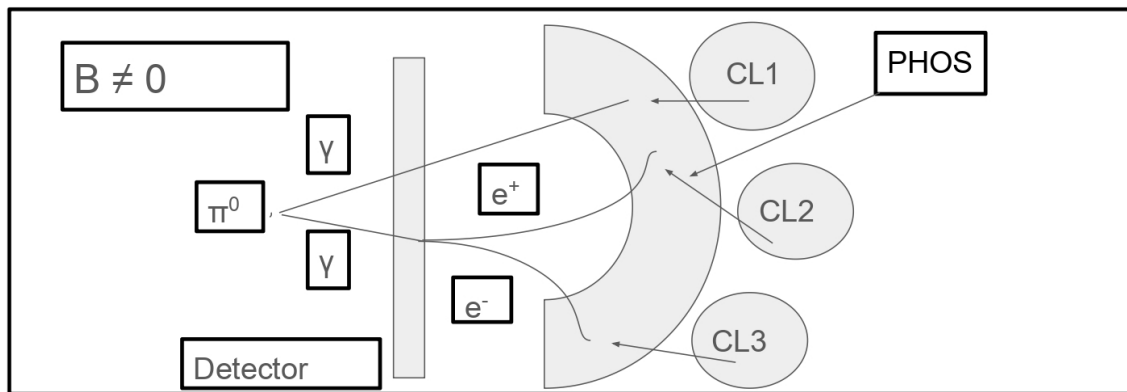
2. Цель работы

Оценить количество материала перед калориметром PHOS в эксперименте ALICE, сравнивая отношения реконструированных спектров π^0 -мезонов в случаях включенного (FieldON) и выключенного (FieldOFF) магнитных полей для реальных данных и Monte-Carlo моделирования

3. Основная идея



$B = 0$: угол разлета e^+e^- -пары от конвертировавшего γ -кванта мал, пара образует один кластер, энергия которого немного меньше энергии конвертировавшего фотона. Вклад в пик есть



$B \neq 0$: пара от конвертировавшего γ -кванта может разлететься на большой угол и образовать два разных кластера, энергия которых сильно меньше энергии конвертировавшего γ -кванта. Вклада в пик нет

Рис. 0. Основная идея работы

Вывод: магнитное поле уменьшает вклад в пик от конвертировавших фотонов

4. Восстановление спектра π^0 -мезонов (реальные данные, $\sqrt{S} = 0$)

- Применяется метод инвариантных масс
- Исходные данные — p-p столкновения энергией 13 ТэВ
 - **Real-распределение (SameEvents):** сумма фоновых (BG, CBG) и полезных событий (π^0):
$$\text{Real} = \text{CBG} + \text{BG} + \pi^0 \quad (1)$$
 - **Mixed-распределение (MixedEvents):** комбинирование пар фотонов из разных событий:
$$\text{Mixed} = w \cdot \text{BG} \quad (2)$$

Two-photon inv. mass vs pion P_T

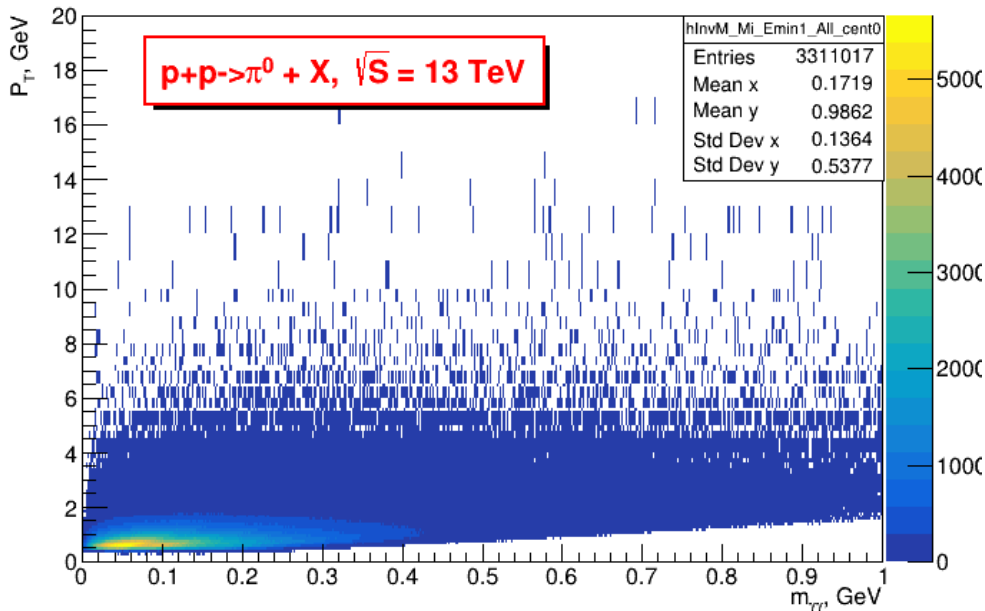


Рис. 1. Исходное Real-распределение

Two-photon inv. mass vs pion P_T

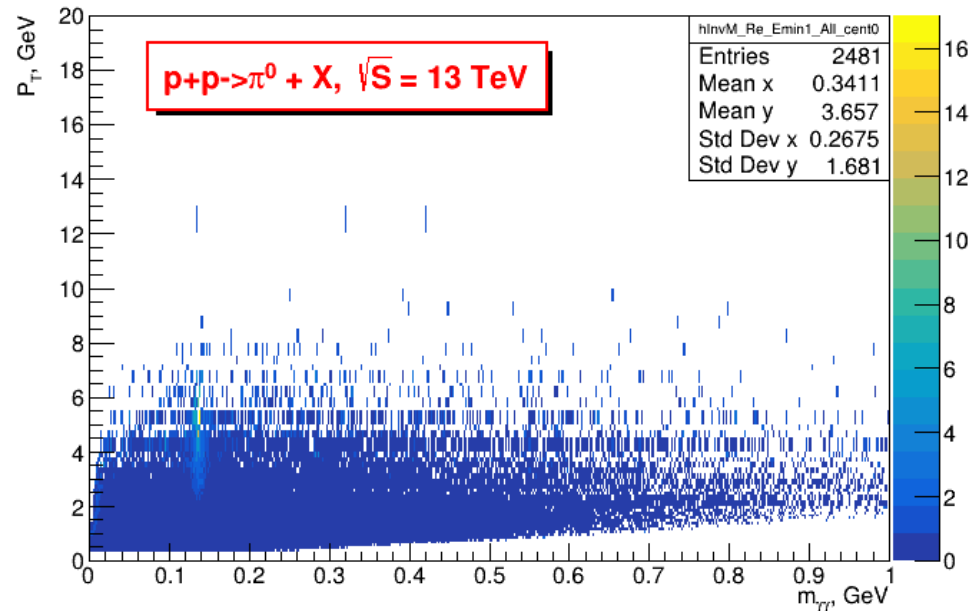


Рис. 2. Исходное Mixed-распределение

4. Восстановление спектра π^0 -мезонов (реальные данные, $V = 0$)

- Исследуются зависимости параметров π^0 -пика (положения m и ширины σ) от P_T , а также сырые спектры π^0 -мезонов
- Исходные распределения рабиваются по P_T -проекциям
- Выбор ширины проекции — набор статистики для параметризации

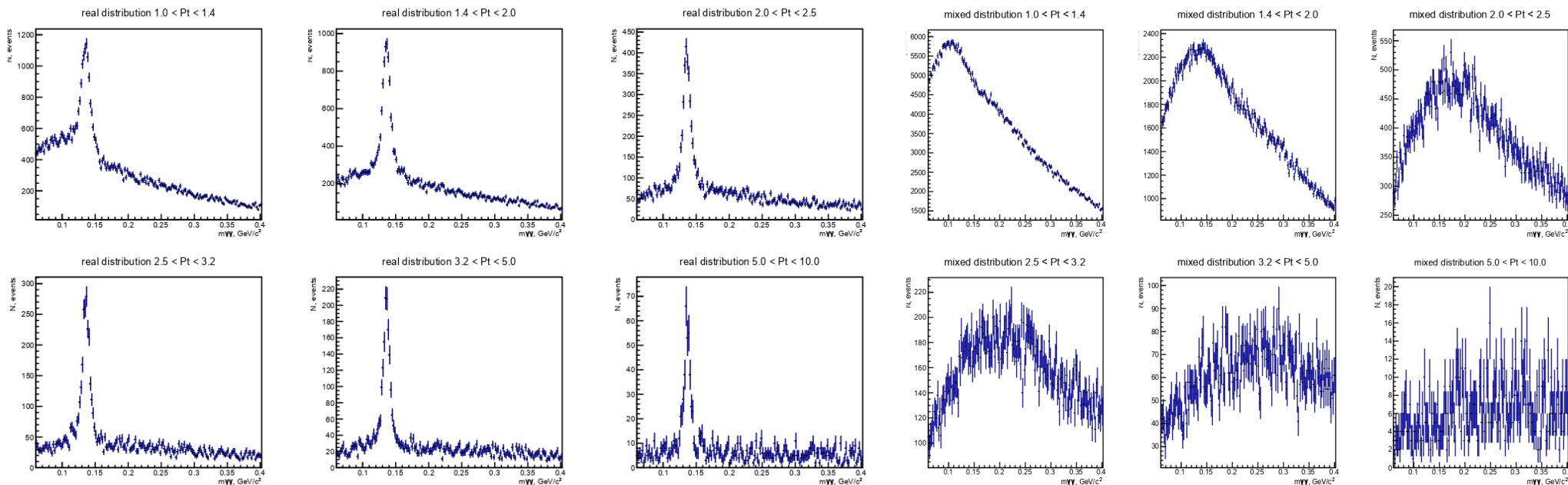


Рис. 3. Зависимость формы Real-распределения от P_T

Рис. 4. Зависимость формы Mixed-распределения от P_T

4. Восстановление спектра π^0 -мезонов (реальные данные, $B = 0$)

- Отношение Real/Mixed: $\frac{Real}{Mixed} = \frac{\pi^0 + BG + CBG}{w \cdot BG} = \frac{1}{w} + \frac{\pi^0 + CBG}{w \cdot BG}$ (3)
- Параметризация: crystalball + pol(2) \Rightarrow $\frac{1}{w} = pol(2)$ (4)
- Область параметризации — плавные участки спектров

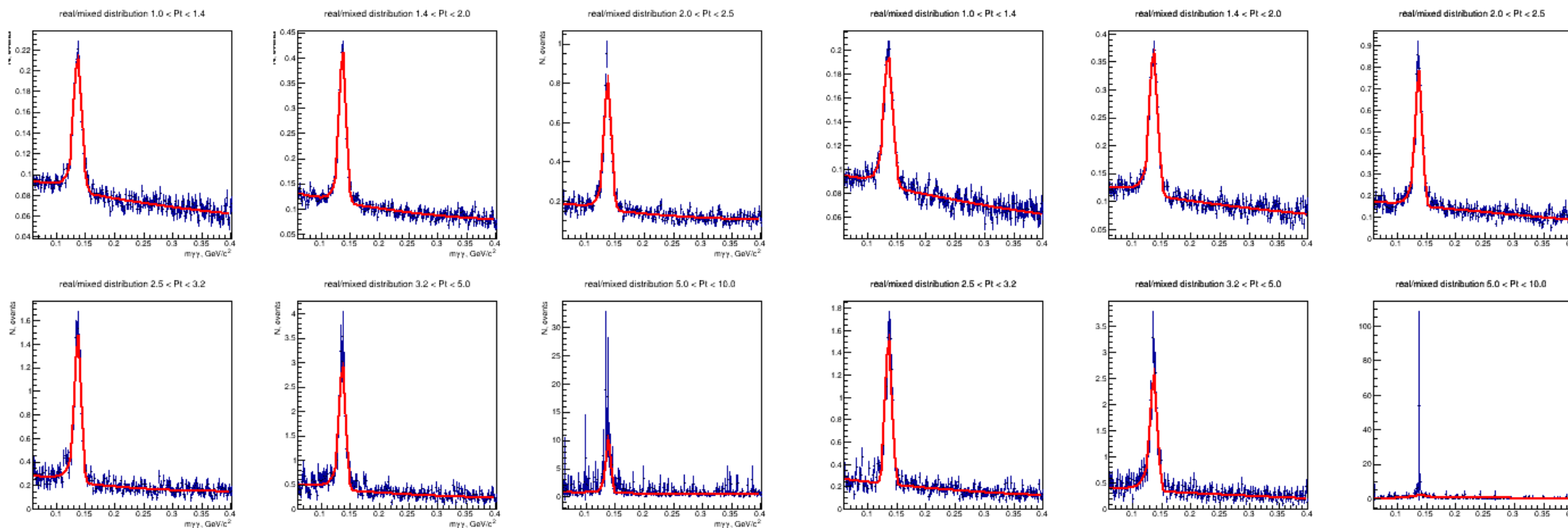


Рис. 5. Нахождение поправки w из параметризации отношения Real/Mixed ($B \neq 0$)

Рис. 6. Нахождение поправки w из параметризации отношения Real/Mixed ($B = 0$)

4. Восстановление спектра π^0 -мезонов (реальные данные, $B = 0$)

- Комбинаторный фон: $\text{NormedMixed} = \text{Mixed} \cdot \text{pol}(2) = \text{BG}$ (5)
- Сигнал: $\text{Signal} = \text{Real} - \text{NormedMixed} = \text{CBG} + \text{BG} + \pi^0 - \text{BG} = \text{CBG} + \pi^0$ (6)

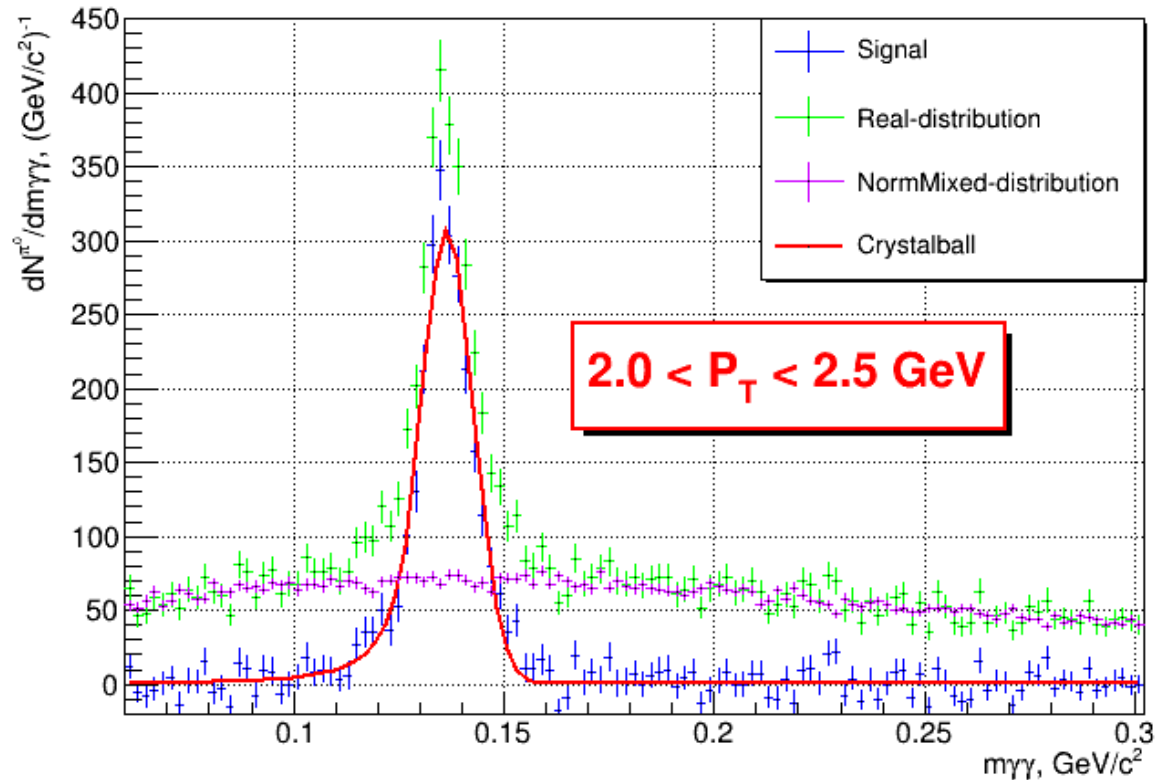


Рис. 7. Получение сигнала

5. Сырые спектры π^0 -мезонов для реальных данных

- На каждой P_T -проекции сигнал интегрируется в пределах $m_{\gamma\gamma} \pm 3\sigma$
- **Интегрирование** → суммирование числа отсчетов под спектром инвариантных масс (crystalball)
- Полученное число делится на число событий (порядка 13 млн) и ширину P_T -проекции

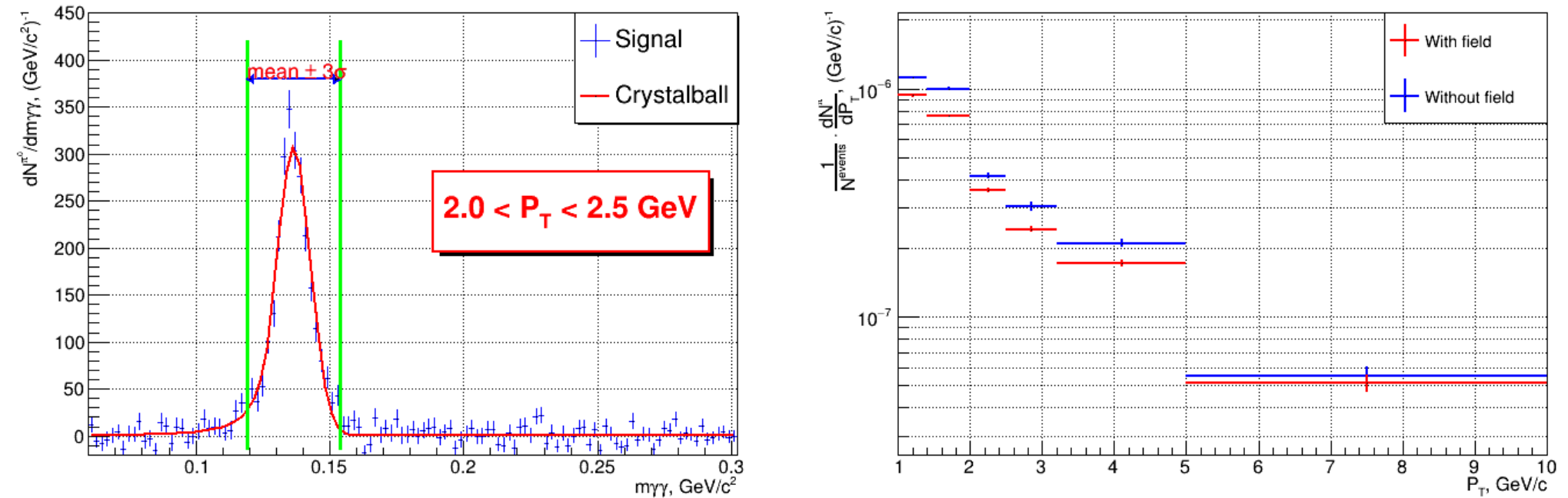
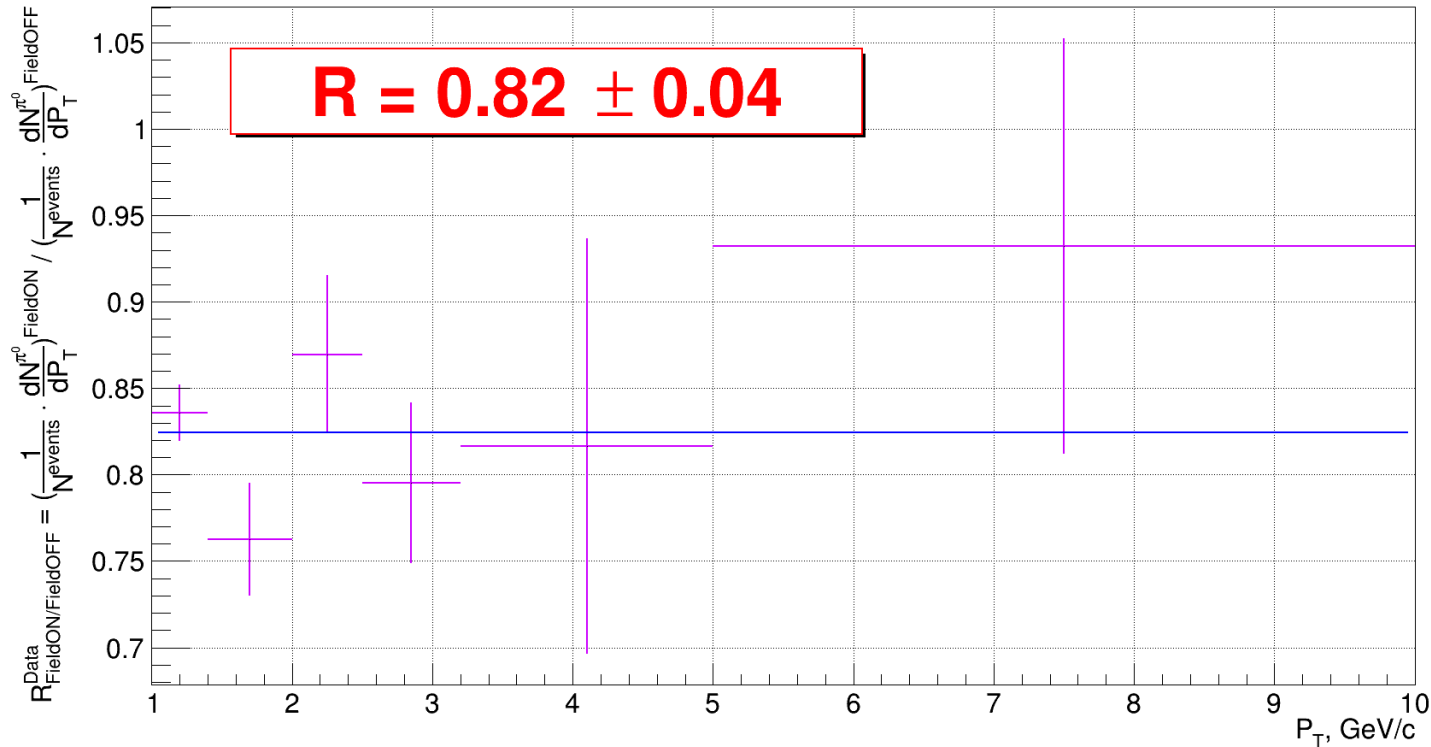


Рис. 8. Сырые спектры π^0 -мезонов случаях FieldON и FieldOFF

6. Отношение сырых спектров π^0 -мезонов (реальные данные)

- Причина — конверсия γ -кванта в $e^+ - e^-$ - пару до PHOS



Число π^0 -мезонов, реконструированных в PHOS в одном событии в случае FieldON в среднем ниже, чем в случае FieldOFF \approx на 18%

Рис. 9. Отношение сырых спектров π^0 -мезонов в случае FieldON/FieldOFF

7. Результаты MC-моделирования. Положения и ширины пиков

- Аналогичный алгоритм анализа
- Форма спектра воспроизводится в генераторе событий Pythia 8 с хорошей ТОЧНОСТЬЮ

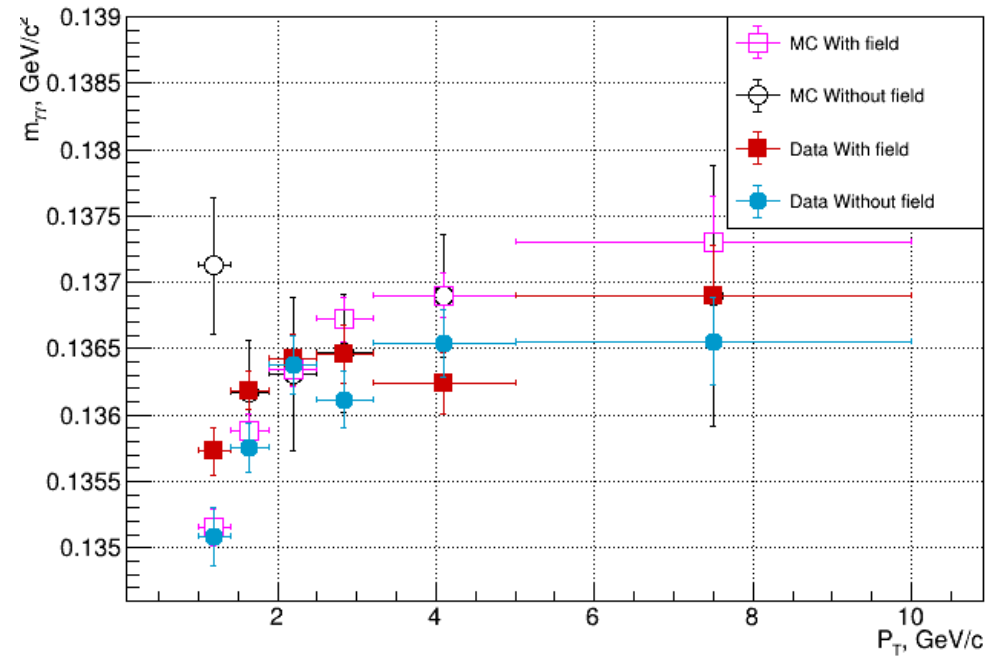


Рис. 10. Сравнение положений пиков в Data и MC

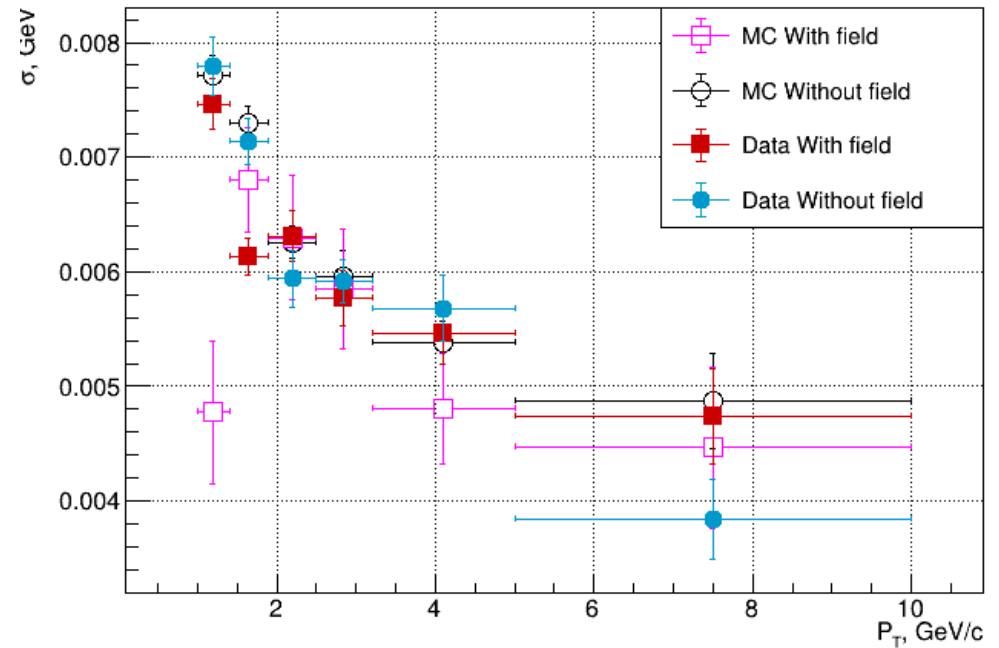


Рис. 11. Сравнение ширины пиков в Data и MC

7. Результаты MC-моделирования. Сырые спектры и их отношения

- Значение параметризующей константы близко к случаю реальных данных ($R = 0.82 \pm 0.04$), но не совпадает с ним

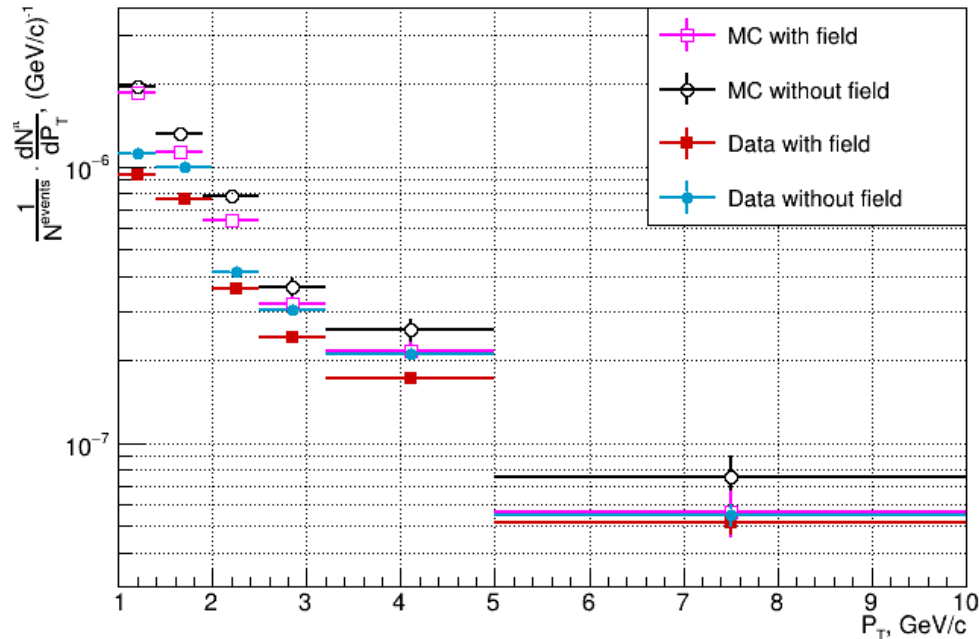


Рис. 12. Сравнение сырых спектров π^0 -мезонов для всех случаев (MC и реальные данные с полем и без)

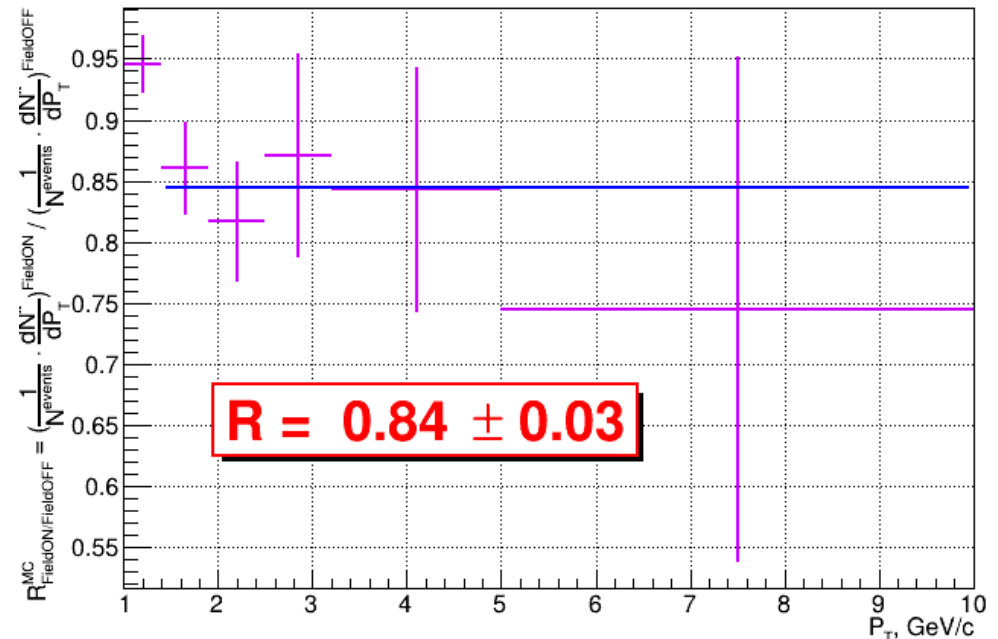
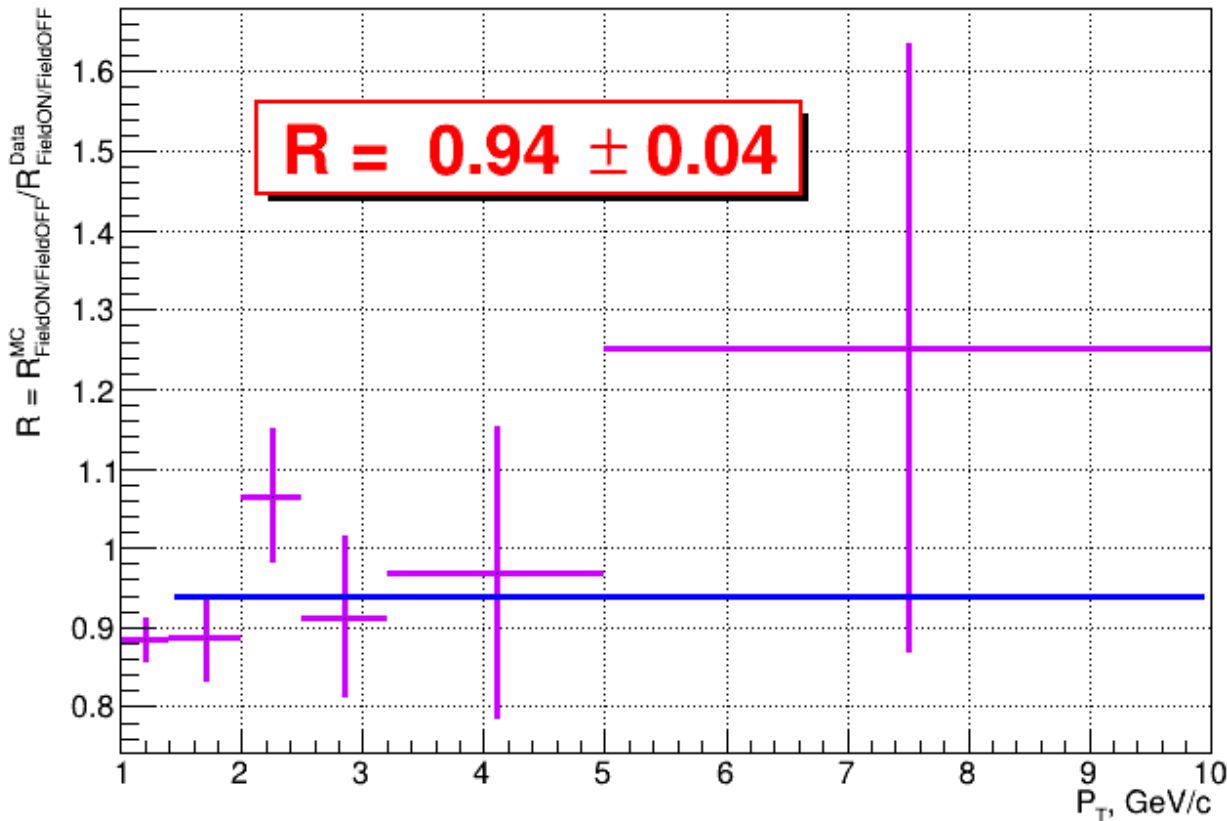


Рис. 13. Отношения сырых спектров π^0 -мезонов в MC-моделировании в случае FieldON/FieldOFF

8. Двойное отношение сырых спектров. Предварительный результат

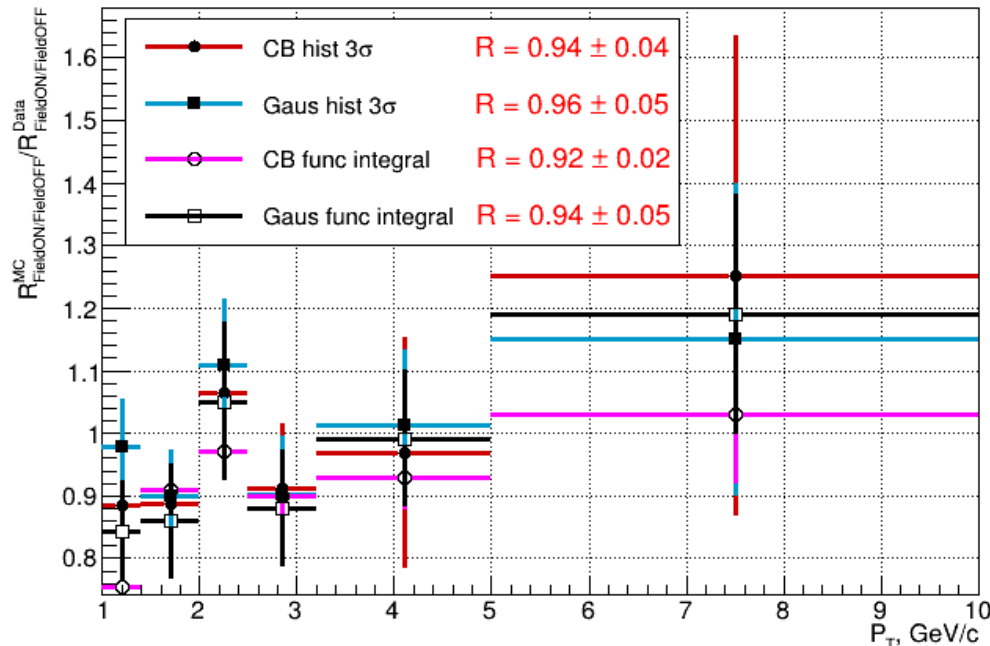


В MC-моделировании отношение сырых спектров π^0 -мезонов, реконструированных в PHOS, на 6% меньше, чем в реальных данных. Следовательно, не весь материал перед калориметром описан в MC, и существует неопределённость, которую предлагается учитывать в виде поправки $(6 \pm 4)\%$ для дальнейших анализов, проводимых с помощью PHOS

Рис. 14. Двойное отношение сырых спектров π^0 -мезонов для случаев $\text{MC}(\text{FieldON}/\text{FieldOFF})/\text{Data}(\text{FieldON}/\text{FieldOFF})$, полученное способом №1

9. Предположения о форме спектра инвариантных масс. Систематические погрешности

- Суммирование числа отсчетов в сигнале в пределах 3σ (параметризация исходных данных функцией Crystalball) (предположение 1)
- Суммирование числа отсчетов в сигнале в пределах 3σ (параметризация исходных данных функцией Гаусса) (предположение 2)
- Взятие интеграла от функции Crystalball, параметризующей сигнал, в пределах 3σ (параметризация исходных данных функцией Crystalball) (предположение 3)
- Взятие интеграла от функции Гаусса, параметризующей сигнал, в пределах 3σ (параметризация исходных данных функцией Гаусса) (предположение 4)



Двойные отношения, полученные четырьмя методами, согласуются в пределах статистических погрешностей

Все предположения флуктуируют друг относительно друга. Поэтому в качестве оценки систематических погрешностей вместо максимальных отклонений предлагается брать RMS:

$$\sigma_{sys} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - R_{cp})^2} \quad (7)$$

Рис. 15. Двойные отношения, полученные разными предположениями

10. Итоговое значение двойного отношения и результирующие погрешности

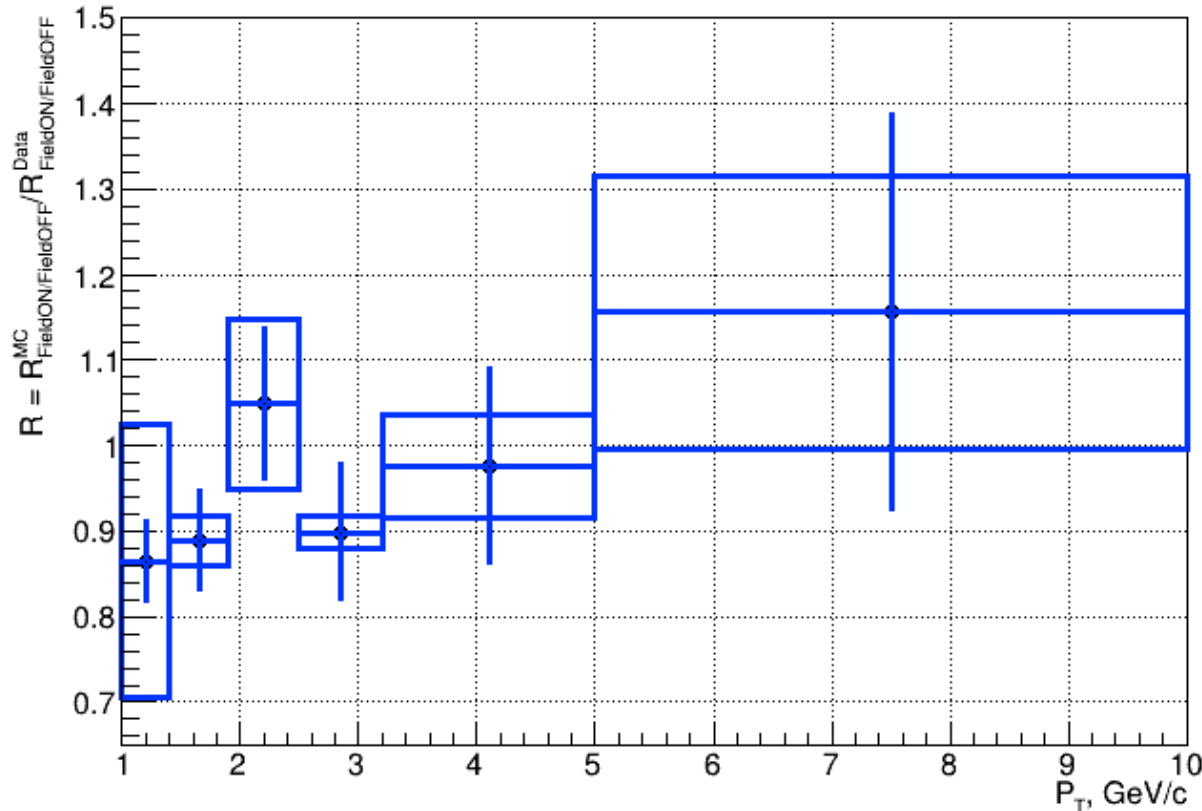


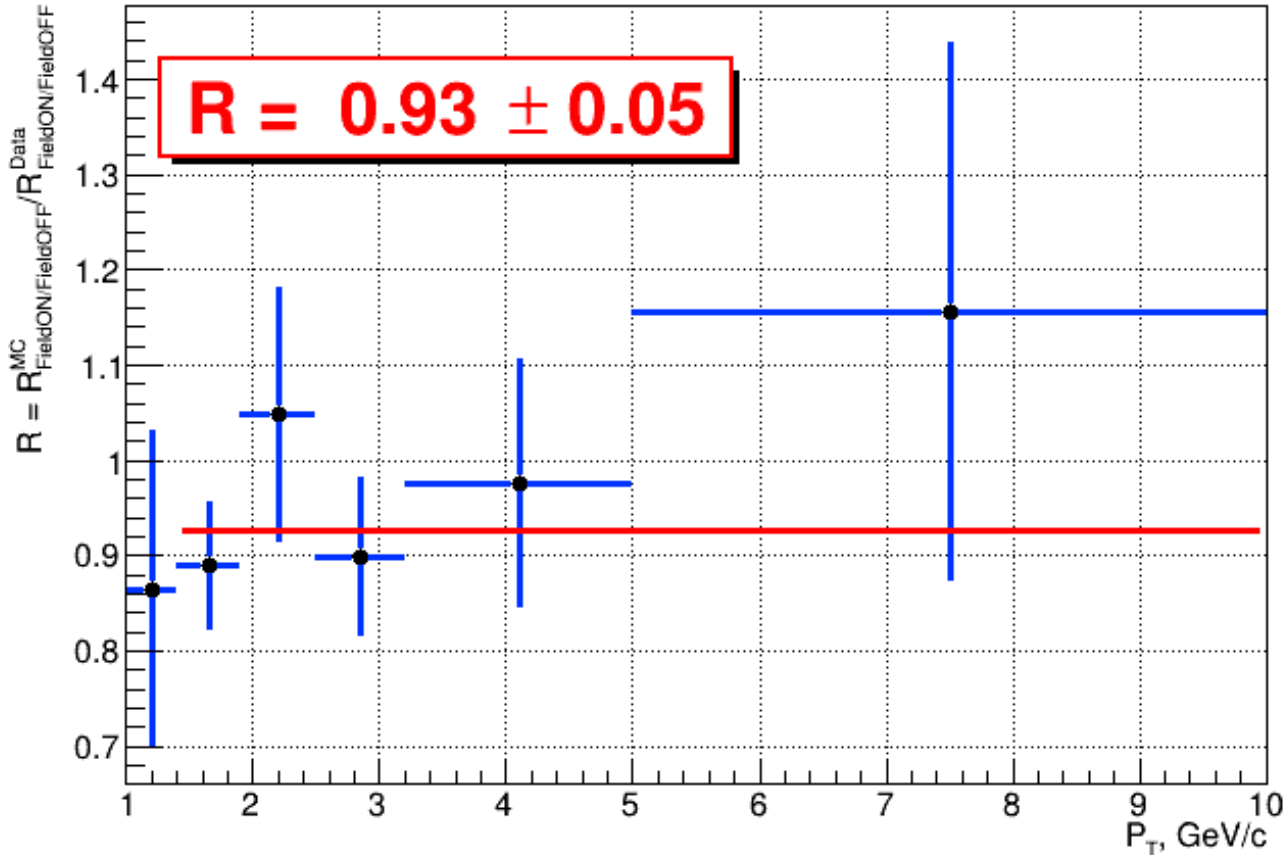
Рис. 16. Систематические и статистические неопределённости

Итоговое значение двойного отношения берётся как среднее между результатами, полученными из всех четырёх предположений

Систематические неопределенности не скоррелированы в различных P_T -бинах и не зависят от статистических флуктуаций. Следовательно, их можно складывать квадратично и использовать для итоговой параметризации:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{sys}}^2 + \sigma_{\text{stat}}^2} \quad (8)$$

11. Итоговый результат



Итоговое значение двойного отношения с учетом суммарных неопределённостей:
 $R = 0.93 \pm 0.05$

Не весь материал перед PHOS описан полностью в Monte-Carlo моделировании. Следовательно, существует неопределённость, которую предлагается учитывать в виде поправки $(7 \pm 5)\%$ в дальнейших анализах, проводимых с помощью PHOS

Рис. 17. Итоговый результат

12. Заключение

- В работе оценивалось количество вещества перед калориметром PHOS, приводящего к конверсии фотонов. Для этого сравнивалось число реконструированных π^0 -мезонов в конфигурации с включенным магнитным полем и с выключенным полем, предполагая, что в первом случае продукты конверсии будут отклонены полем, а во втором – будут реконструированы как один кластер
- В ходе проведенного анализа Monte-Carlo моделирования и реальных данных методом инвариантных масс было выдвинуто 4 предположения о форме π^0 -пика, для каждого из которых получено двойное отношение реконструированных сырых спектров π^0 -мезонов в случаях включенного и выключенного магнитного поля. Результаты всех четырех предположений согласуются в пределах статистических погрешностей.
- Вклад фотонов в конверсии в π^0 -пик в случае Monte-Carlo моделирования меньше, чем в реальных данных, примерно на $(7 \pm 5)\%$, а итоговое значение двойного отношения $R = (0.93 \pm 0.05)$
- Полученный результат означает, что материал перед калориметром PHOS в Monte-Carlo моделировании описан не полностью, хотя его неопределенность невелика, и ее предлагается учитывать в виде поправки $(7 \pm 5)\%$ для дальнейших анализов, проводимых с помощью PHOS