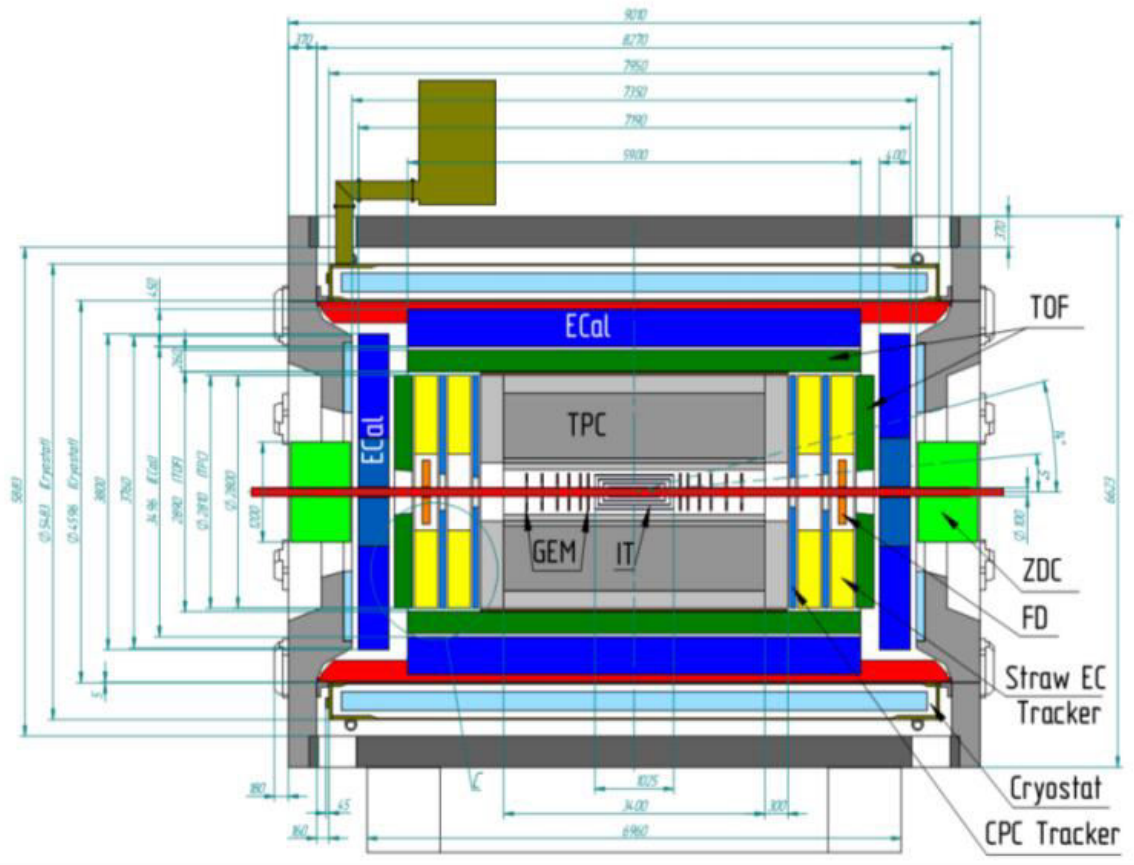


# Электромагнитный калориметр MPD

В. Рябов



# Физические задачи

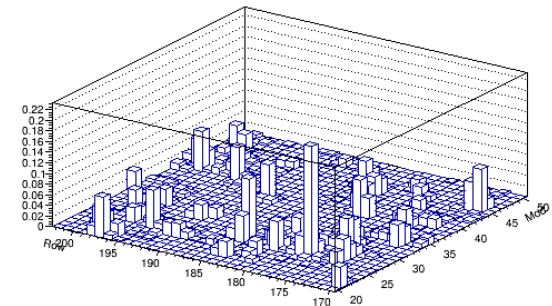
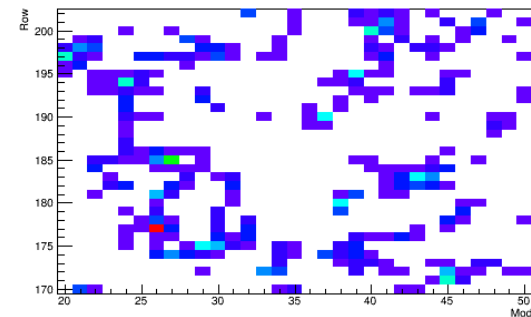
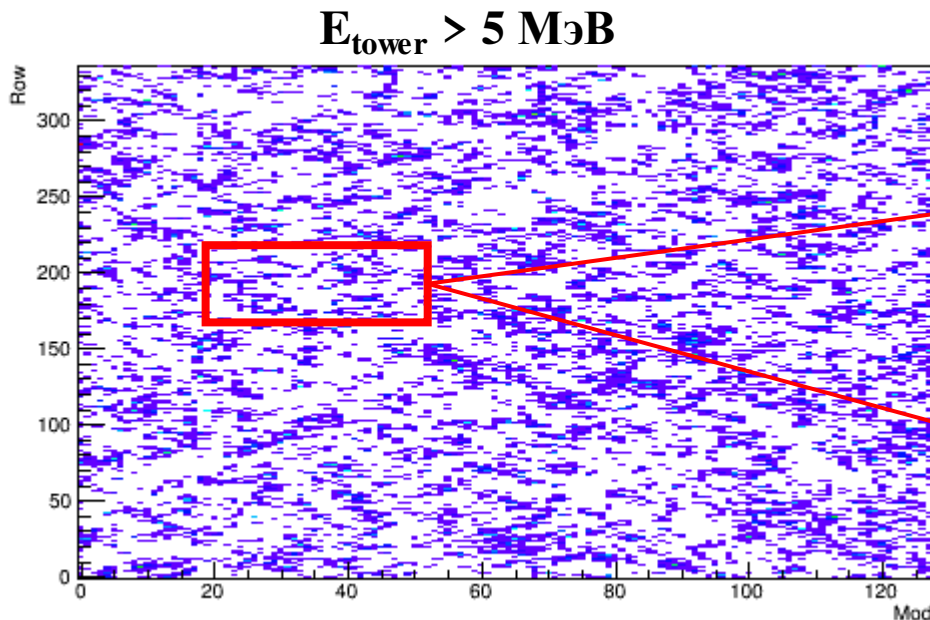
- Фотоны (выход, потоки, НВТ):
  - ✓ инклюзивные
  - ✓ прямые
- Нейтральные мезоны (выход, потоки):
  - ✓  $\pi^0(\eta) \rightarrow \gamma\gamma$
  - ✓  $K_s \rightarrow \pi^0\pi^0$ ,  $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$
- Идентификация электронов,  $E/p \sim 1$  (выход, потоки):
  - ✓  $e^+e^-$  континуум
  - ✓ LVM ( $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ )  $\rightarrow e^+e^-$
  - ✓  $e_{HF}$
  - ✓ конверсионные пары (фотоны, мезоны, геометрия)
- Идентификация адронов:
  - ✓  $\pi/K$  разделение до  $\sim 0.5$  ГэВ/с
  - ✓  $K/p$  разделение до  $\sim 1$  ГэВ/с

# Практические задачи

- Максимально корректное восстановление э/м сигналов:
  - ✓ разделение слипшихся кластеров (unfolding)
  - ✓ коррекция координат и энергий кластеров (глубина, угол падения)
  - ✓ расстояние до ближайшего трека ( $d\phi$ ,  $dz$  + идентификатор трека)
  - ✓ MC контрибуторы
  - ✓ разумное быстроедействие ( $<20\%$  общего времени обработки события)
- Разработка алгоритмов отбора э/м сигналов:
  - ✓ форма ливня, сравнение с ожидаемой
  - ✓ анализ эллипсоидности кластера
  - ✓ параметризация мэтчингов vs.  $p_T$ , charge ...
- Дружественный интерфейс для пользователей:
  - ✓ документация и примеры по использованию разработанного п.о.
  - ✓ рекомендации по методам отбора сигналов
- Определение возможностей ECAL для решения физических задач:
  - ✓ фотоны, мезоны, (ди)лептоны и т.д.

# Особенности работы ЕСАL-MPD

- Большая множественность э/м и адронных сигналов в активном объеме
- По сравнению с другими НИ экспериментами (RHIC, LHC):
  - ✓ более мягкие частицы,  $\sigma(E) \sim 1/\sqrt{E}$
  - ✓ меньший радиус  $\rightarrow$  выше плотность сигналов, больше вклад пространственного разрешения
- Ситуация принципиально не уникальная и позволяет использовать аналогичные подходы для восстановления интересующих сигналов

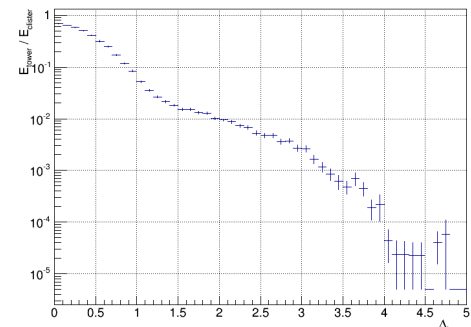
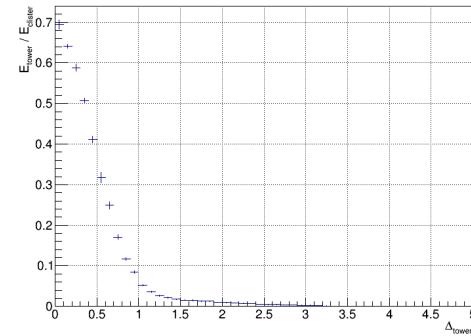
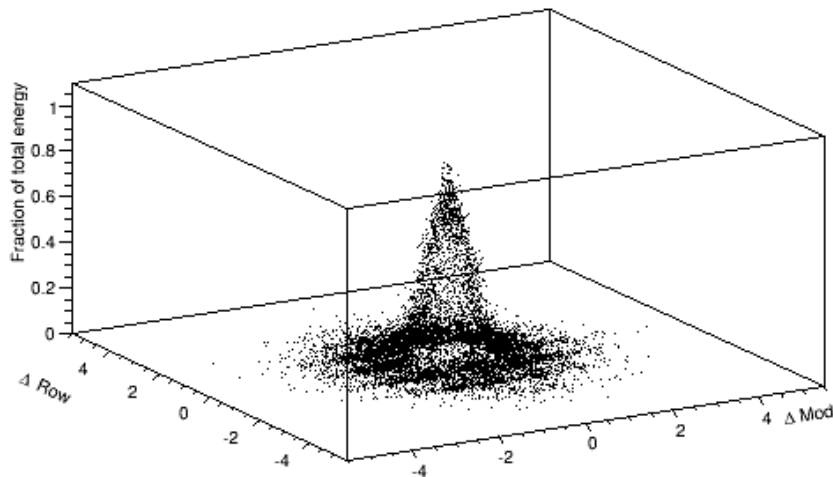


# Цепочка моделирования

- Geant: точки в чувствительных элементах калориметра с координатами и энергосвободением
- Digitizer: “измерение” энергосвободения в каждой башне (tower)
- Clusterizer: восстановление сигналов в калориметре от э/м и адронных ливней (координаты, энергия, мэтчинг, MC контрибуторы)
- При фиксированной геометрии калориметра и версии Geant(4) единственной степенью свободы является алгоритм поиска кластеров – Clusterizer
- Попытался оптимизировать алгоритм образования кластеров

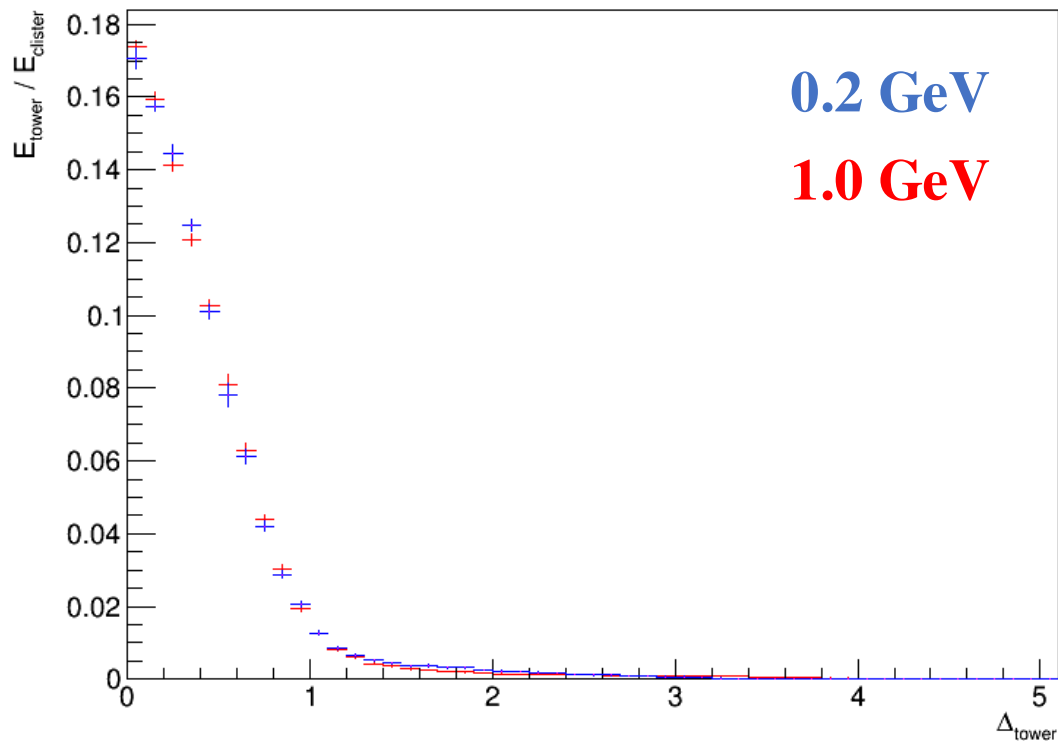
# Э/м кластер в ЕСАL-MPD

- 5000 событий с одним фотоном ( $\Delta\phi = 2\pi$ ,  $40^\circ < \Theta < 140^\circ$ , реалистичное размытие вершины)
- Определил э/м кластер как сумму всех башен, которые касаются друг друга хотя бы одной стороной
- Отбросил события в двумя и более кластерами (конверсия, взаимодействие с материалами и т.д.)
- Определил геометрический центр э/м кластера,  $x = \sum x_i E_i / \sum E_i$
- Построил профиль ливня,  $E_i / \sum E_i : \Delta\text{Mod} : \Delta\text{Row}$



# Профиль э/м кластера в ECAL-MPD

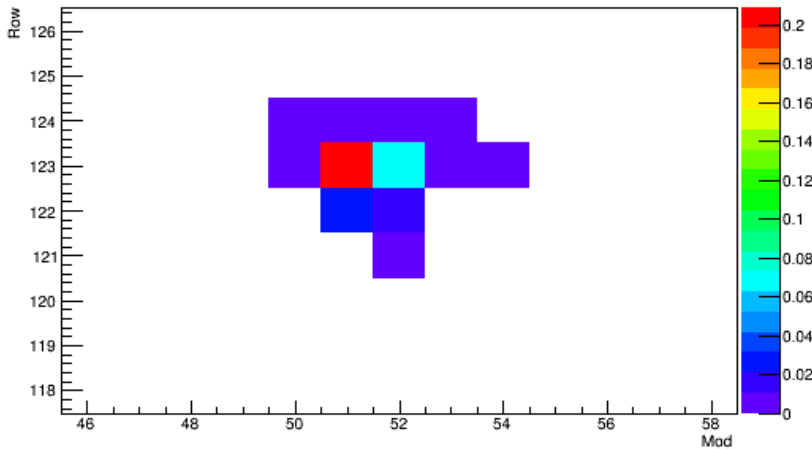
- Повторил процедуру для различных энергий:  $E_\gamma = 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$  GeV
- Профили э/м кластеров оказались достаточно похожими
- Знание профиля позволяет разделять слипшиеся кластеры



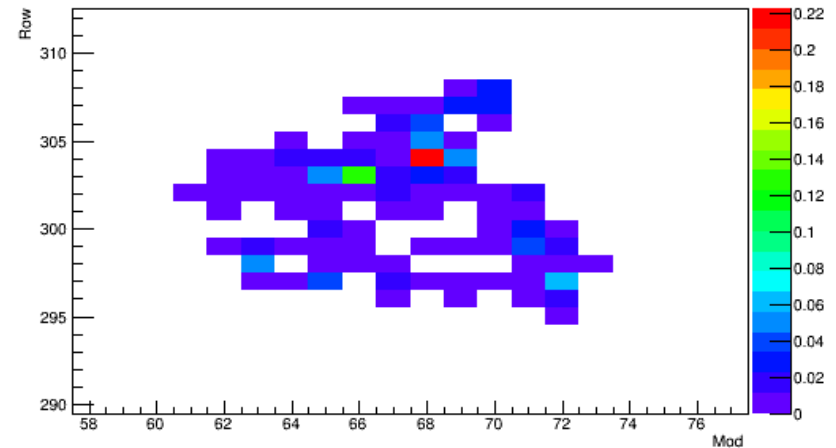
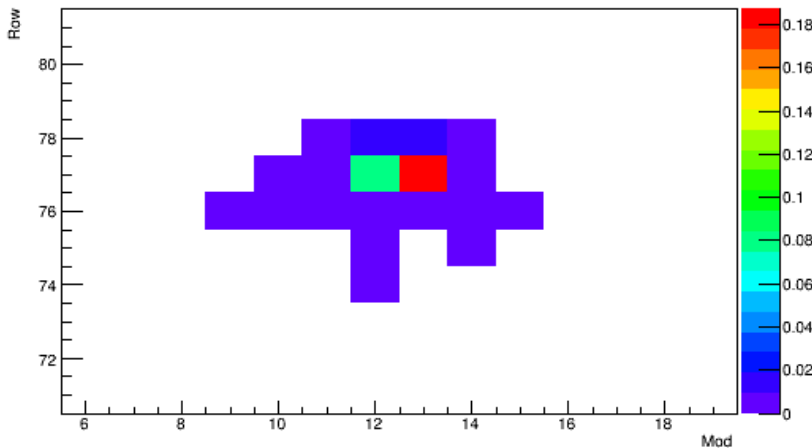
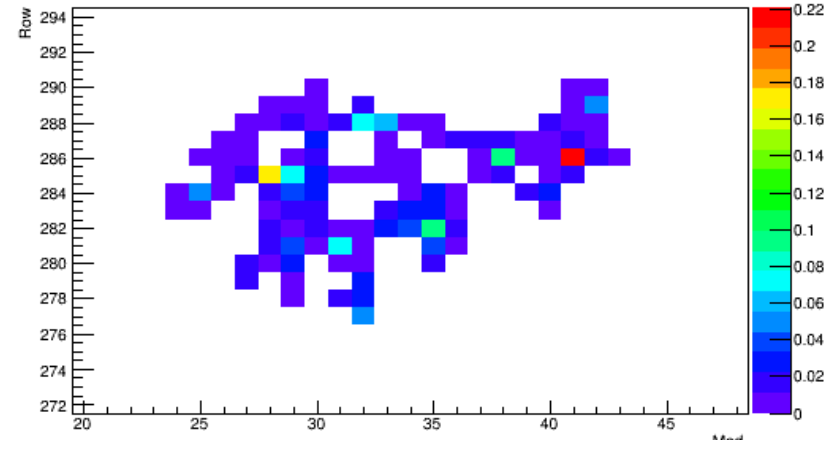
# Восстановление кластеров, шаг-1

- Определение кластера:
  - ✓ локальный максимум, окруженный башнями с уменьшающейся по радиусу энергией в пределах матрицы 3x3
  - ✓ все башни в кластере должны касаться друг друга хотя бы одной стороной

## 1 максимум



## много максимумов



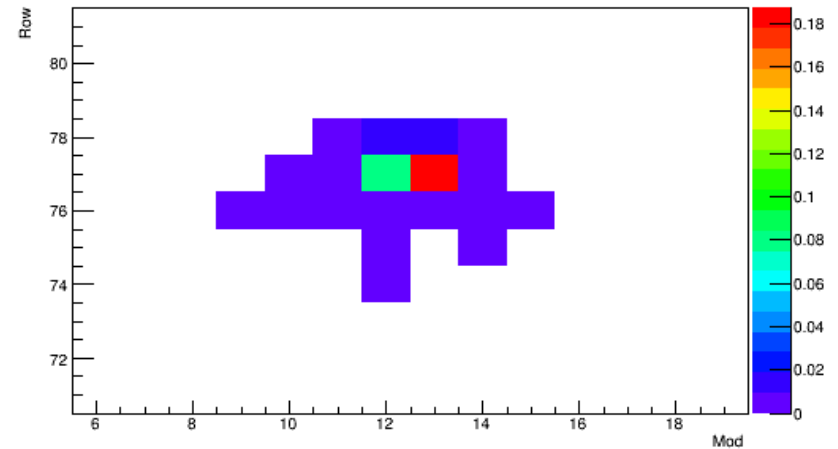
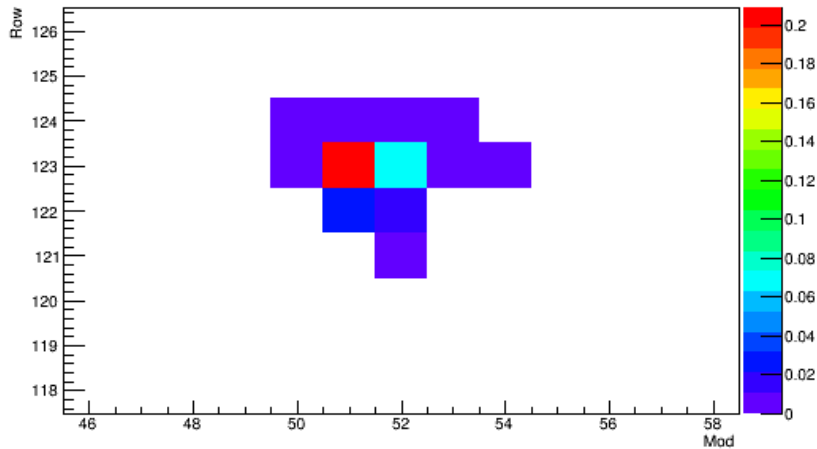


# Кластеры с одним максимумом

- Объединяем все башни в один кластер:

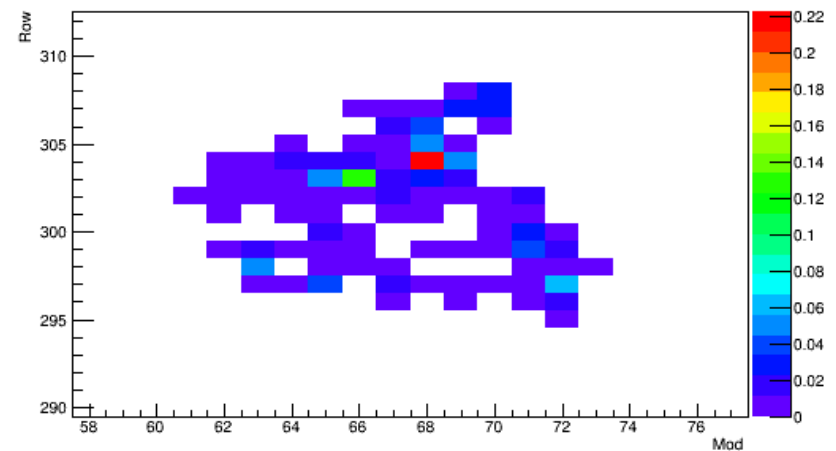
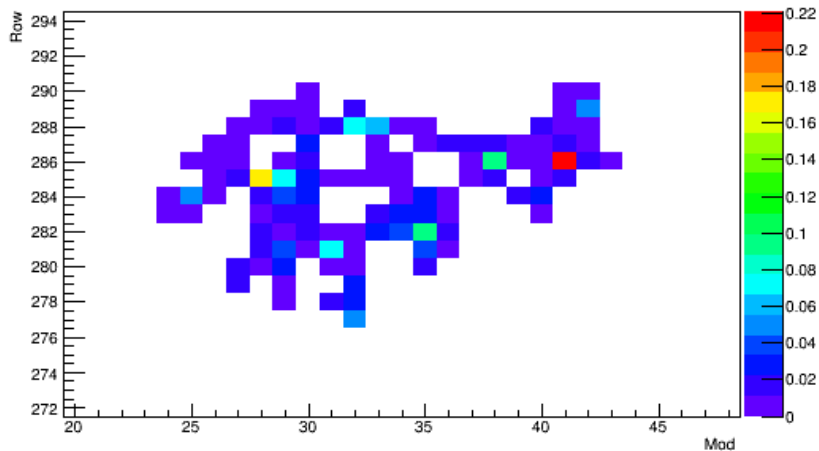
- ✓  $E = \sum E_i$

- ✓  $x = \sum x_i E_i / \sum E_i$



# Кластеры с числом максимумов $> 1$ (unfolding)

- Предположения:
  - ✓ все кластеры имеют э/м природу и имеют одинаковую форму
  - ✓ все частицы упали перпендикулярно поверхности башни
  - ✓ все ливни развились на одинаковой глубине



# Кластеры с числом максимумов $> 1$ (unfolding)

- Предлагаемый алгоритм:

- 1) нахождение локальных максимумов в пределах слипшегося кластера,  $n_{\max}$
- 2) формирование пре-кластеров вокруг локальных максимумов (1)
  - ✓ 3x3 структура с максимумом в центре
  - ✓ допускается присваивание одной и той же башни нескольким пре-кластерам
  - ✓ координаты и энергии пре-кластеров:  $E = \sum E_i, x = \sum x_i E_i / \sum E_i, i = 1 \dots \leq 9$
- 3) определение для каждой башни слипшегося кластера ожидаемого энерговыделения от каждого  $j$ -ого пре-кластера ( $E_{\text{expected}}^j$ ), основываясь на известной форме э/м кластера, см. слайд 7
- 4) разделение энергии каждой башни между пре-кластерами:

$$E_{\text{tower}}^{j\text{-cluster}} = E_{\text{tower}} \frac{E_{\text{expected}}^{j\text{-cluster}}}{\sum_i^{n_{\max}} E_{\text{expected}}^{i\text{-cluster}}}$$

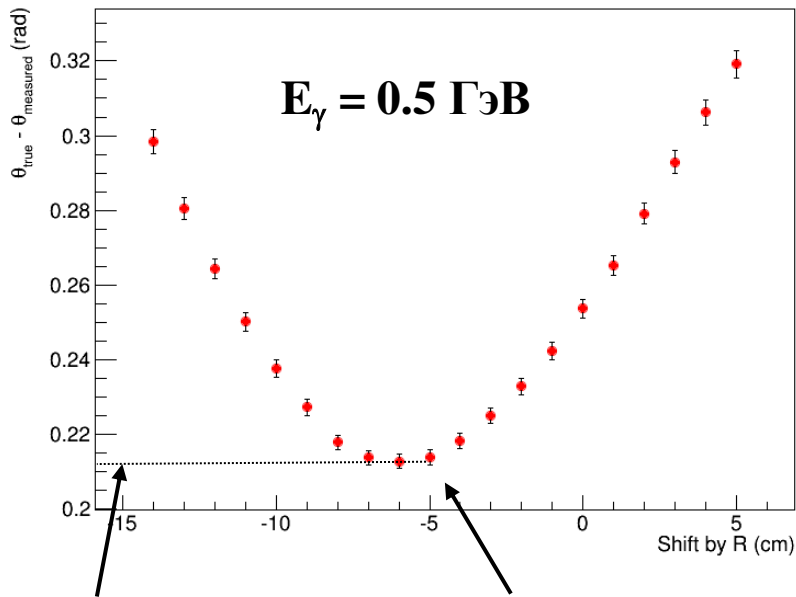
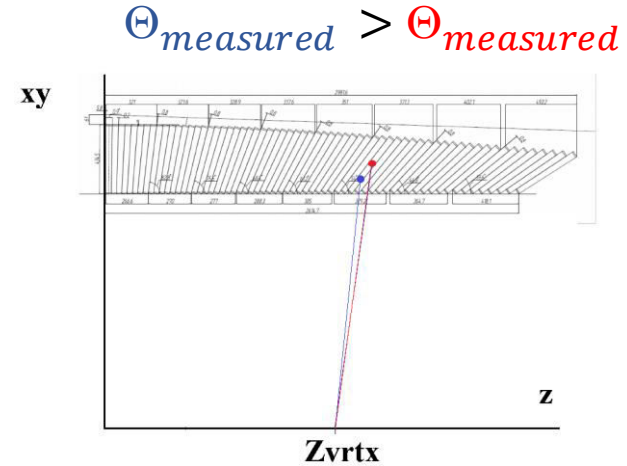
- 5) Переопределение пре-кластеров с использованием  $E_{\text{tower}}^{j\text{-cluster}}$ , не ограничены в размере 3x3 структурой, нахождение новых  $E, x$
- 6) Повторение шагов (3-5). Процесс сходится в 3-5 итераций

# Коррекция на глубину кластера

- 5000 событий с одним фотоном ( $\Delta\phi = 2\pi$ ,  $40^\circ < \Theta < 140^\circ$ , реалистичное размытие вершины)
- Восстановил э/м кластеры
- Отбросил события с числом восстановленных кластеров  $\neq 1$
- Для каждого события (или фотона):
  - ✓ определил смоделированный угол  $\Theta_{\text{true}}$  фотона, используя информацию о сгенерированных координатах первичной вершины и  $(p_x, p_y, p_z)$  фотона
  - ✓ определил восстановленный угол  $\Theta_{\text{measured}}$  кластера, используя информацию о сгенерированных координатах первичной вершины и измеренных координатах кластера
- $\Theta_{\text{true}}$  не зависит от калориметра
- $\Theta_{\text{measured}}$  зависит от глубины кластера в калориметре

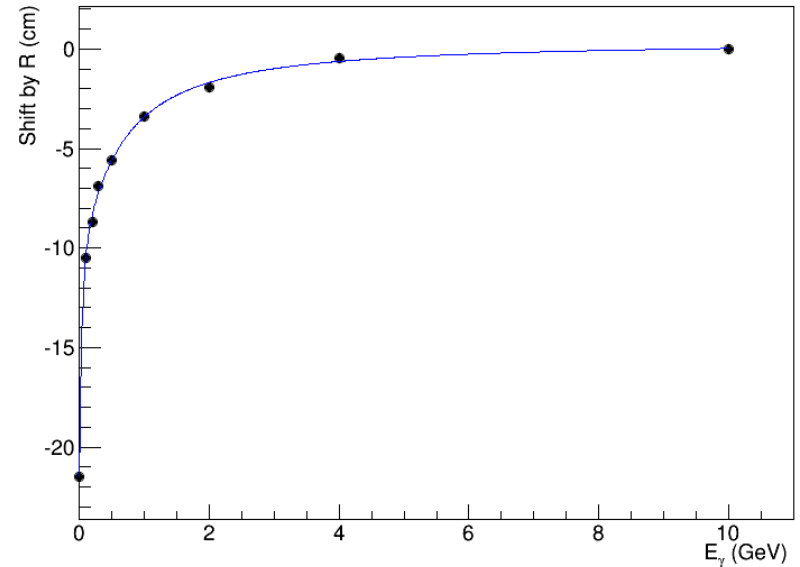
# Коррекция координат кластера

- Построил распределение  $\Theta_{\text{measured}} - \Theta_{\text{true}}$  в зависимости от величины сдвига координат восстановленного кластера по радиусу (или глубине)
- Повторил процедуру для различных энергий  $E_\gamma$



Наилучшее пространственное разрешение

Минимальная разница в сгенерированном и восстановленном угле



# Коррекция на угол падения

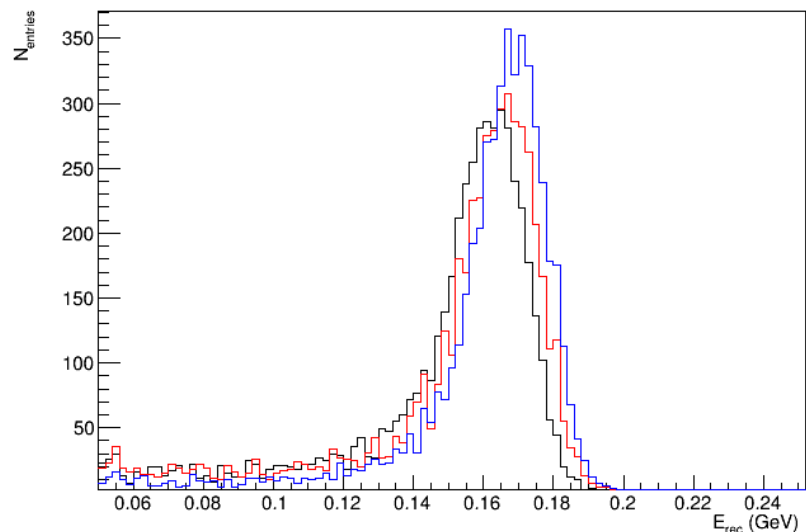
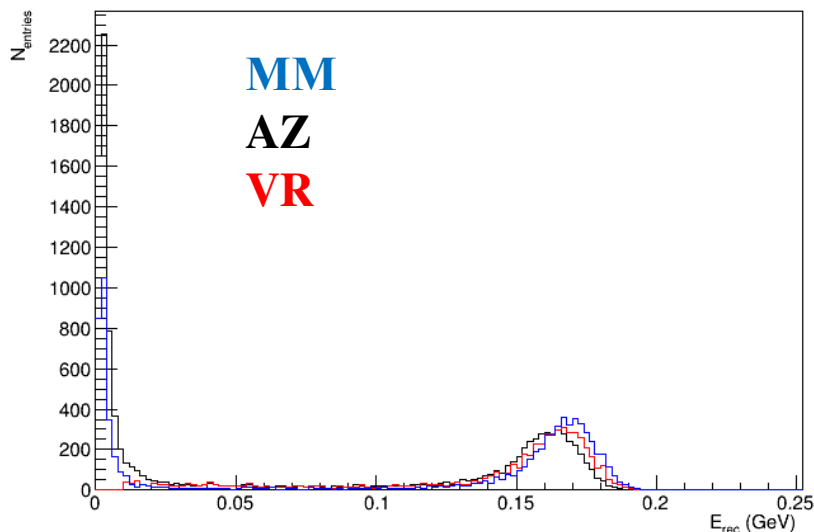
- Из-за широкого распределения событий по  $Z_{\text{vrtx}}$  угол падения фотонов на поверхность калориметра отличается от нуля
- Зная восстановленные координаты вершины и координаты кластера можно оценить угол наклона “трека” по отношению в поверхности калориметра и ввести соответствующие коррекции к координатам
- В списке актуальных задач .....

# Сравнение с существующими кластеризаторами

- Для публичного использования доступно два кода digitizer-clusterizer:
  - 1) Максим Мартемьянов (ИТЭФ) – “**MM**”
  - 2) Александр Зинченко (Дубна) – “**AZ**”
- Данные вычисления были проведены с использованием digitizer\_MM и нового кластеризатора + дополнительное условие  $E_{\max} > 30$  МэВ + мэтчинг + ассоциация с МС треками – “**VR**”
- Все вычисления делались с одинаковыми отборами ( $E_{\text{tower}} > 5$  МэВ) без селекции по времени лета

# Одиночные фотоны

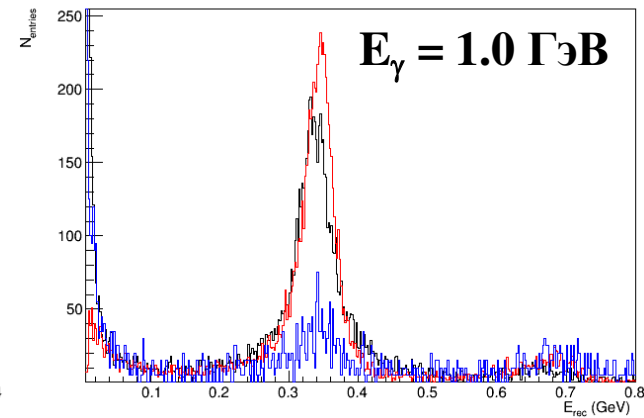
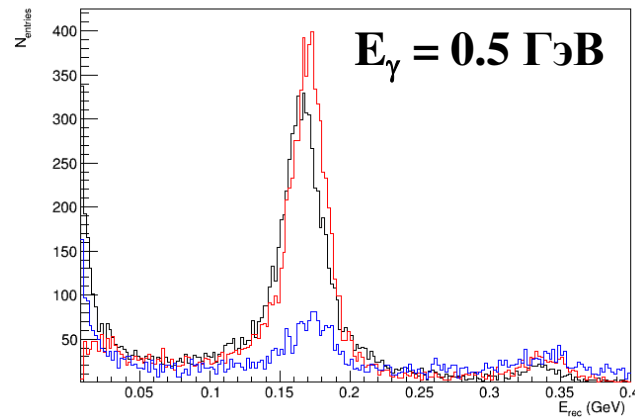
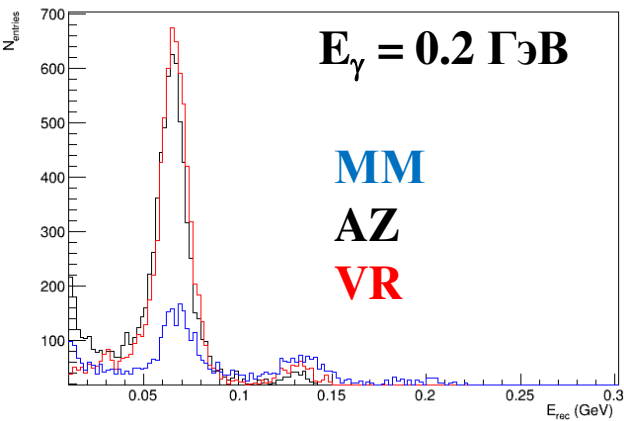
- 5000 событий с одним фотоном ( $\Delta\phi = 2\pi$ ,  $40^\circ < \Theta < 140^\circ$ , реалистичное размытие вершины)
- $E_\gamma = 0.5$  ГэВ
- Восстановил кластеры, используя три алгоритма
  - ✓ пики в районе нуля для **MM** и **AZ** – артефакты отсутствия отбора по минимальной энергии максимума
  - ✓ **MM** – абсолютный лидер по эффективности и разрешению из-за сбора большей части полной энергии и возможности восстановления “развалившихся” кластеров





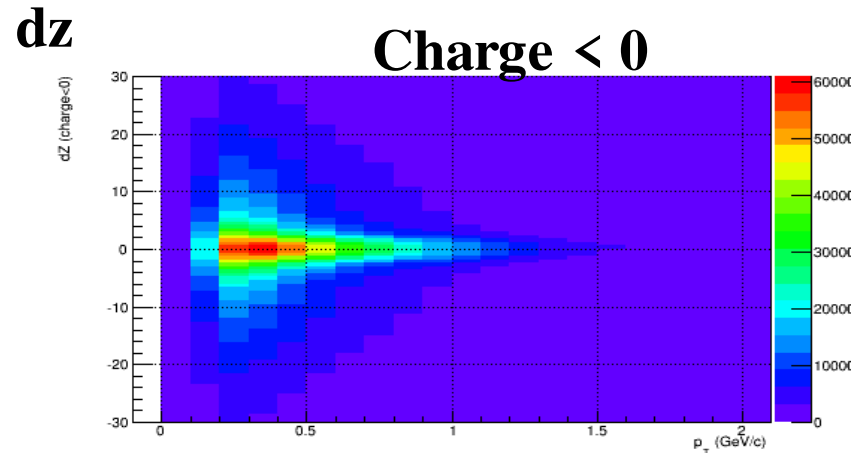
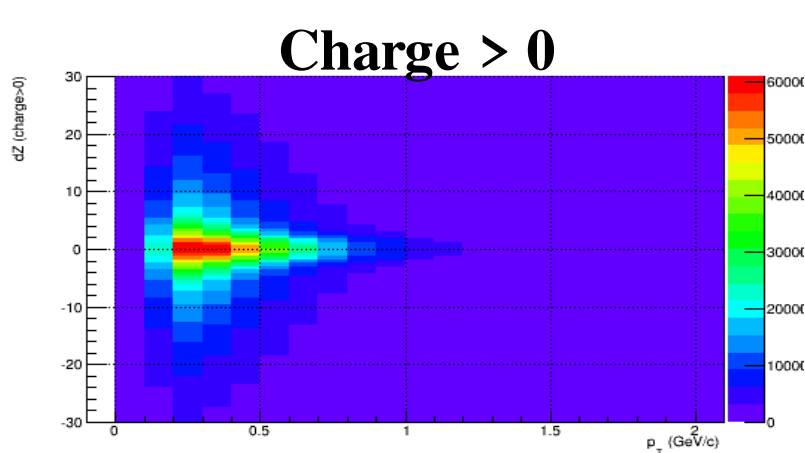
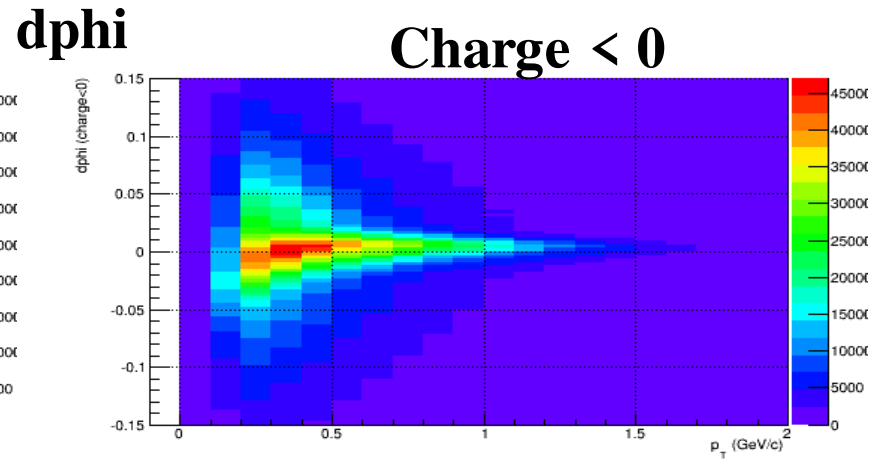
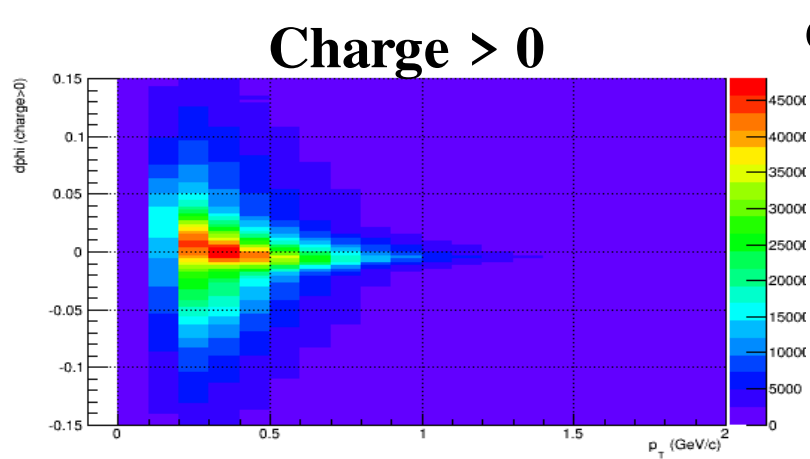
# Много фотонов

- 10 событий с 1000 фотонов в каждом ( $\Delta\varphi = 2\pi$ ,  $40^\circ < \Theta < 140^\circ$ , реалистичное размытие вершины),  $E_\gamma = 0.2, 0.5$  и  $1.0$  ГэВ
- Восстановил кластеры, используя три алгоритма
  - ✓ **MM** – очень низкая эффективность при большой множественности
  - ✓ **VR** – максимальная эффективность, unfolding работает!
  - ✓ **AZ** и **VR** – схожие характеристики при малых нагрузках



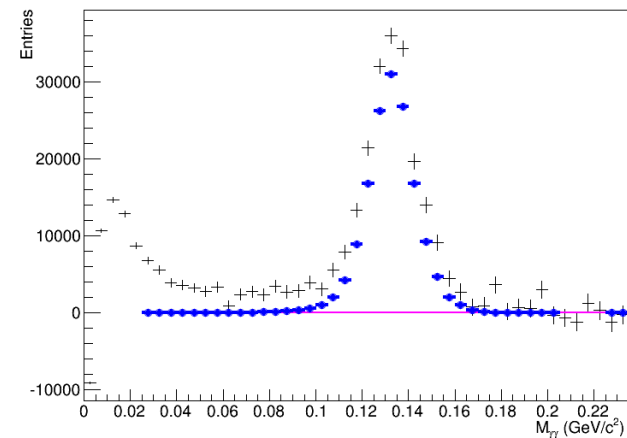
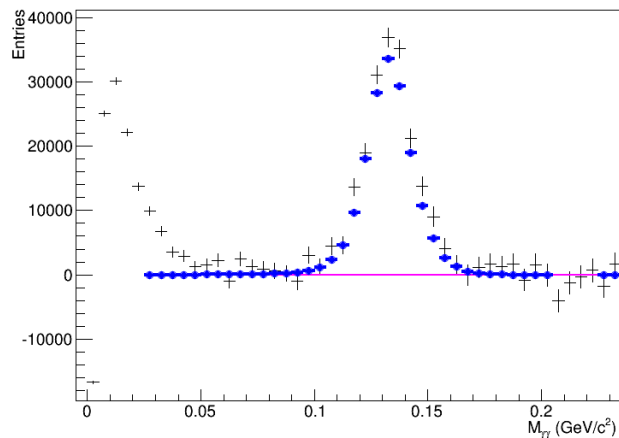
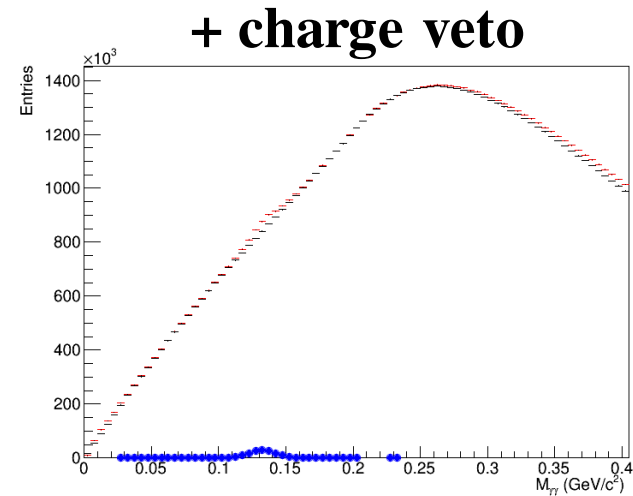
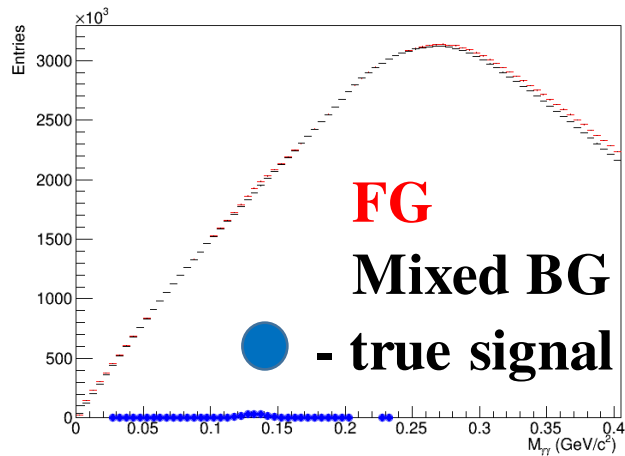
# Ассоциация с треками, AuAu@11 (UrQMD)

- Сдвиг по  $d\Phi$  при малых  $p_T$  обусловлен:
  - ✓ входом частиц под углом к поверхности ECAL
  - ✓ отличием от фотонных кластеров (даже электронные ливни развиваются ближе к поверхности на  $X_0 \sim 3.2$  см)
- Для анализа требуется параметризация мэтчингов как функции  $p_T$ , заряда ...



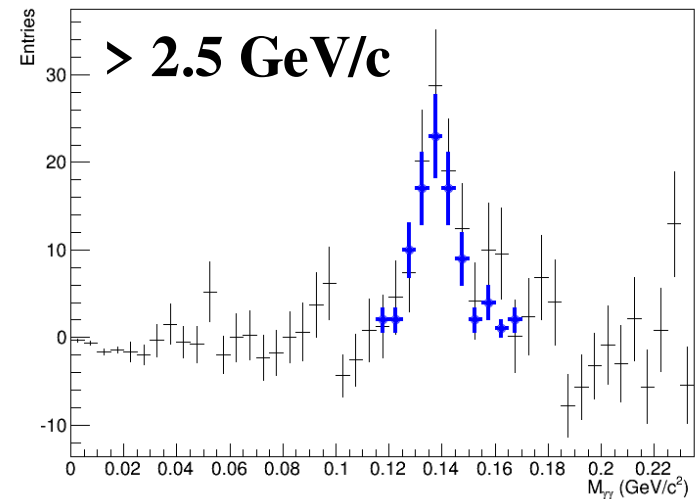
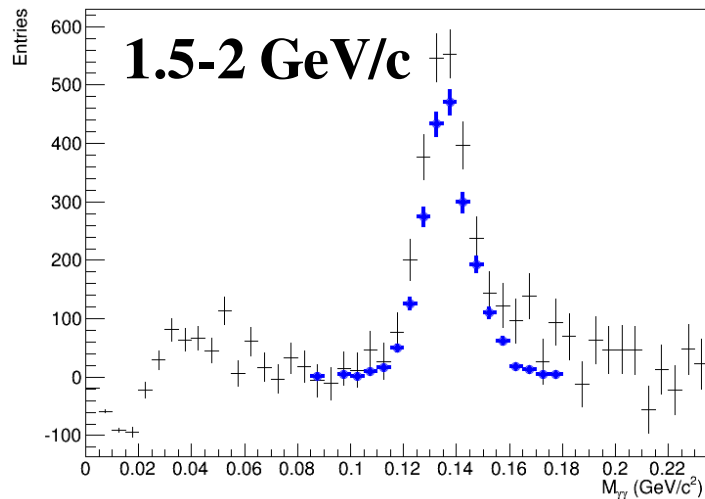
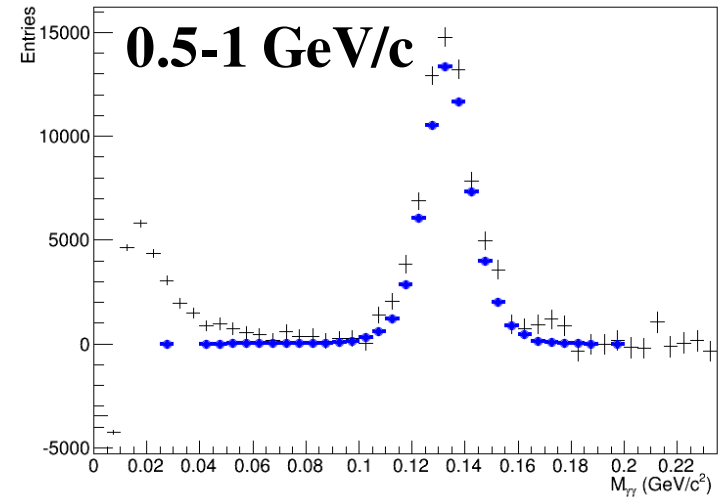
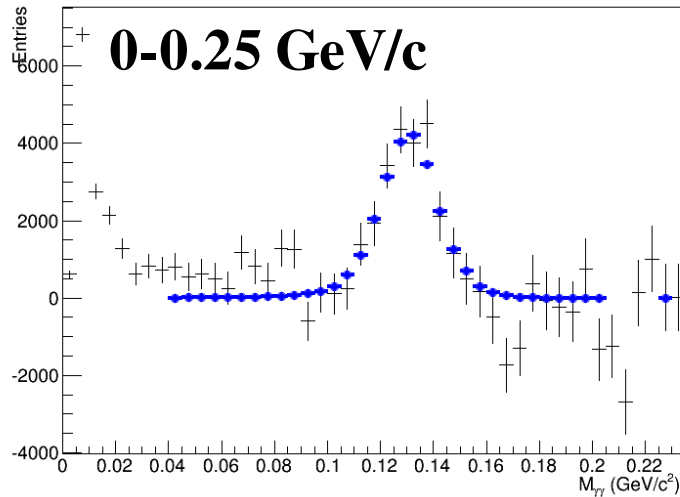
# $\pi^0$ , AuAu@11 (UrQMD)

- $50 \cdot 10^3$  minimum bias Au+Au событий с энергией  $\sqrt{s_{NN}} = 11$  ГэВ (UrQMD)
- Восстановил кластеры, посчитал  $M_{inv}$  для пар и смешанных событий
- Вето улучшает S/B в 2-3 раза, эффективность уменьшается со  $N_{particles}$



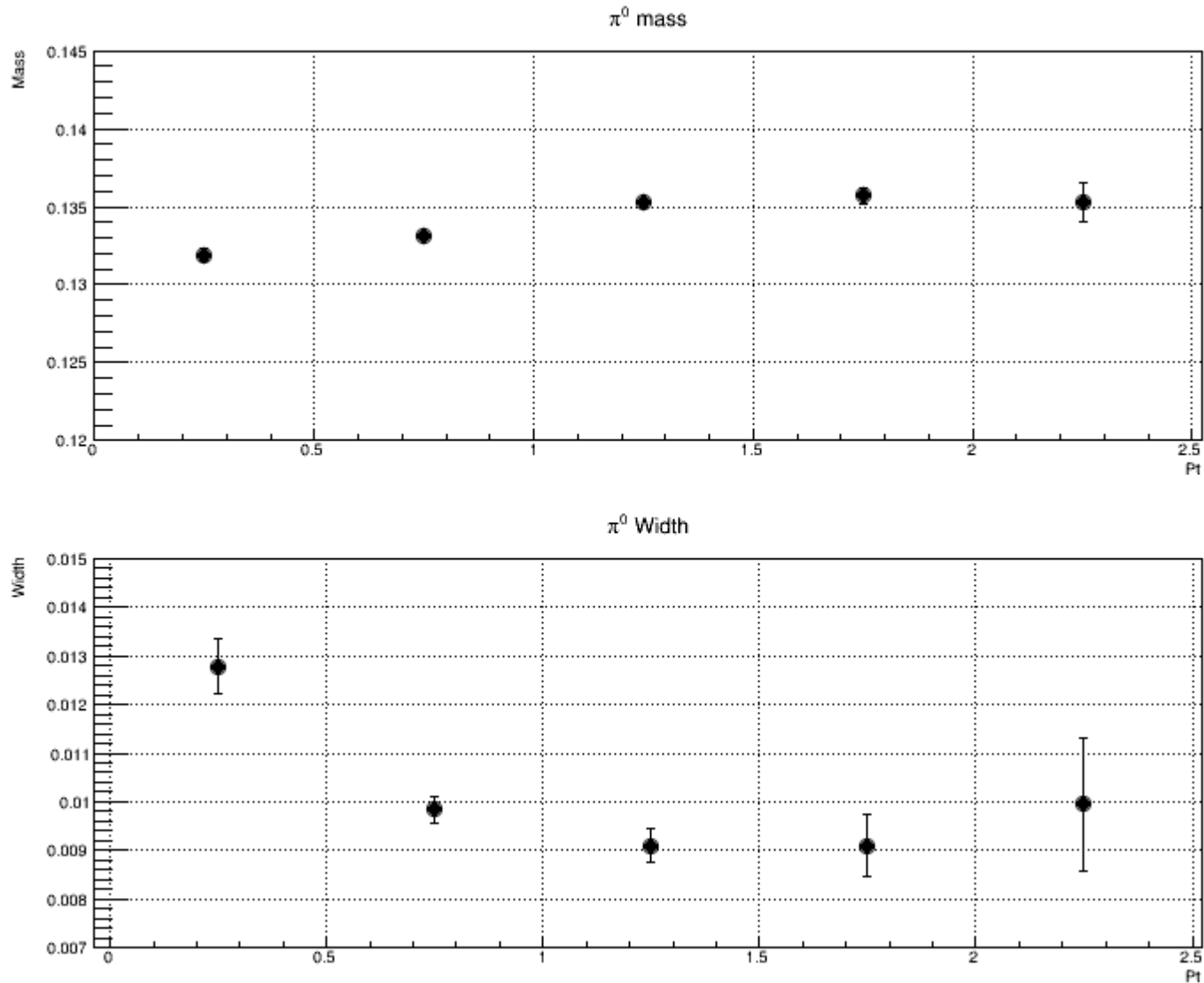
# $\pi^0$ , AuAu@11 (UrQMD)

- Сигнал можно восстановить с  $p_T \sim 0.1 - 0.2$  ГэВ/с



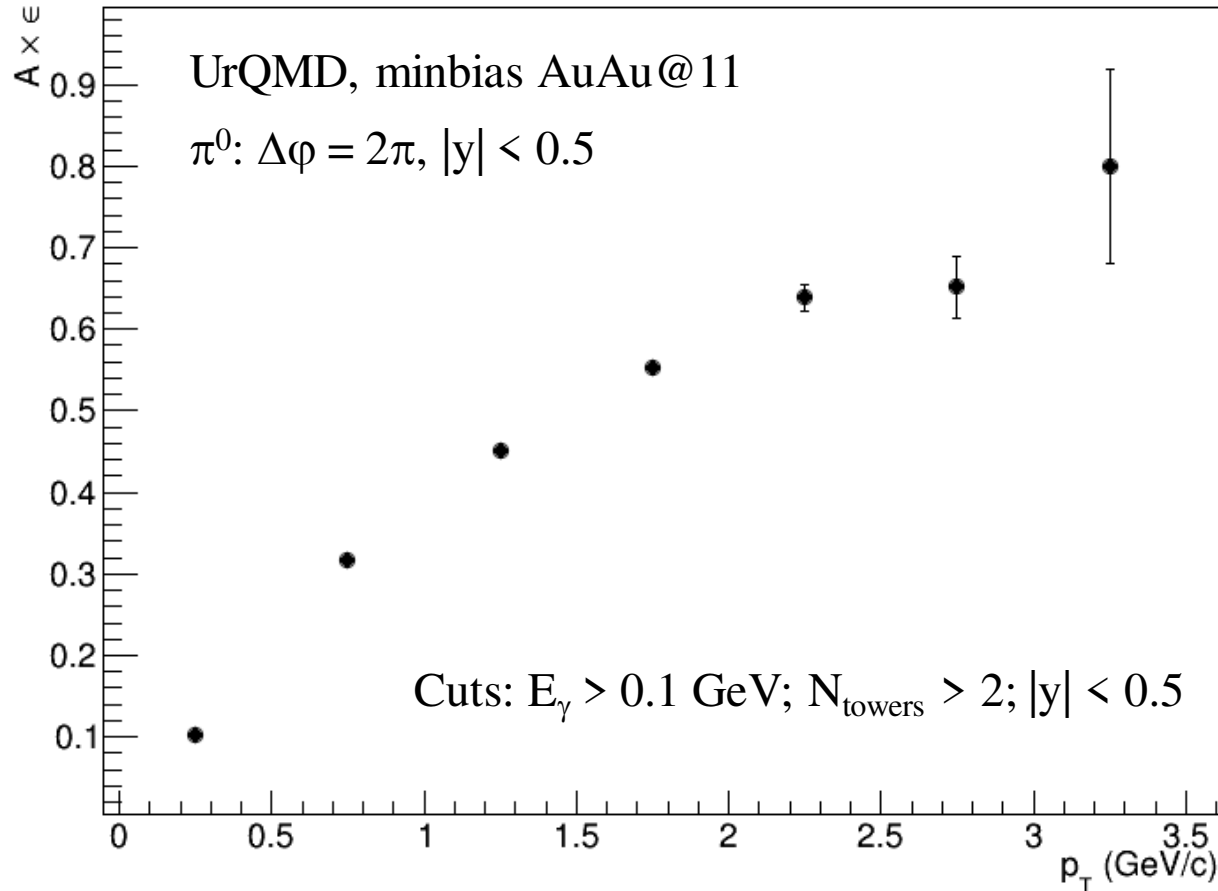
# $\pi^0$ , AuAu@11 (UrQMD)

- Масса и ширина



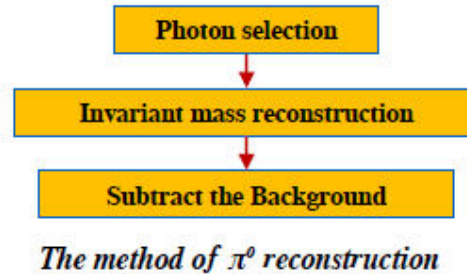
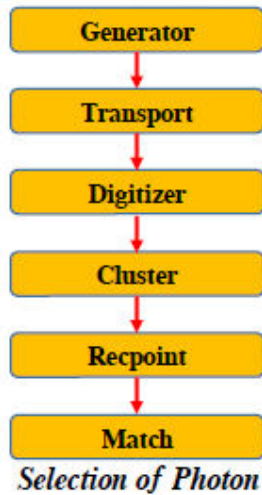
# $\pi^0$ , AuAu@11 (UrQMD)

- Аксептанс х эффе́ктивностъ:  $\Delta\phi = 2\pi$ ,  $|\eta| < 0.5$ , размытие вершины



# С чем сравнить?

## $\pi^0$ reconstruction by Yan Huang



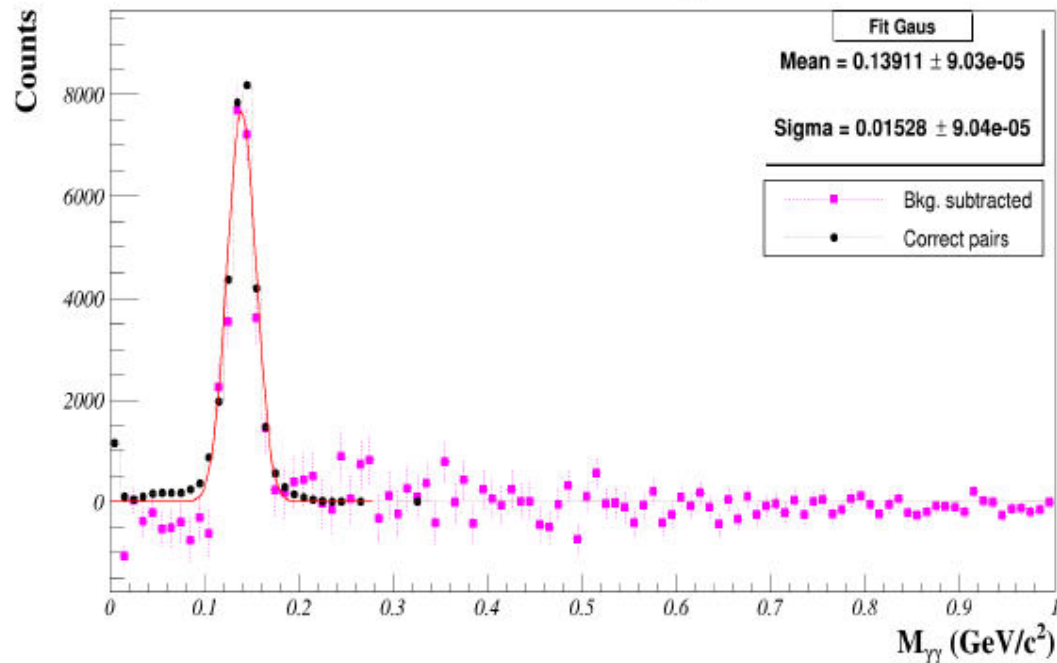
$$x^2 \leq 15.0 \ \&\& \ E/p \leq 0.8$$

$$M_{\gamma\gamma} = \sqrt{2E_{\gamma 1}E_{\gamma 2}(1 - \cos(\theta_{12}))}$$

Event mixed method and scaling

1. HypYpt Generator;
2. Multiplicity 200;
3. Geometry:
  - magnet\_v4
  - tpc\_v8
  - tof\_v7
  - emc\_v2

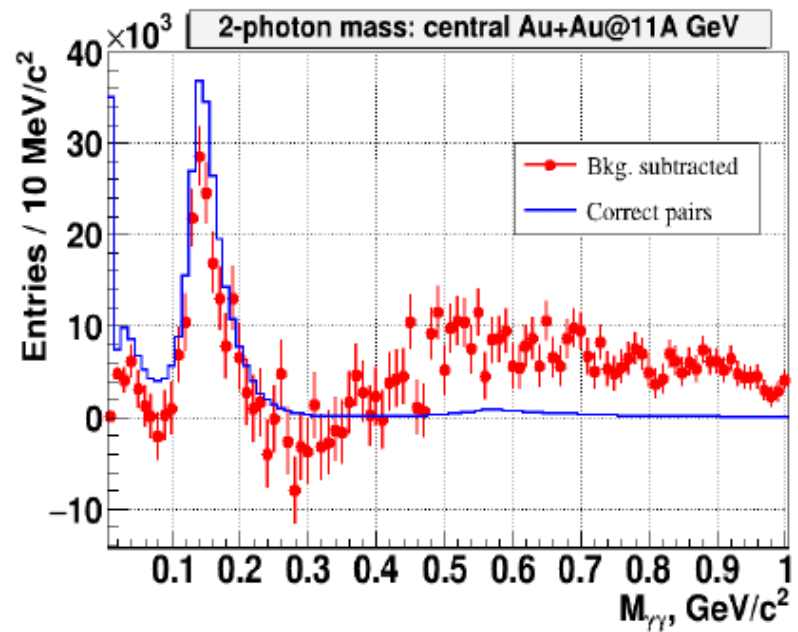
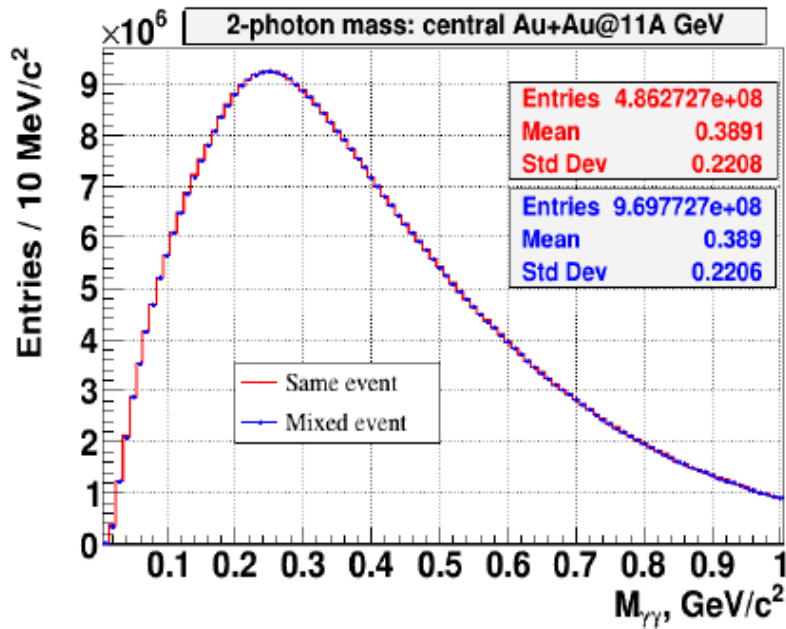
Invariant Mass of  $\gamma\gamma$



# С чем сравнить?

## $\pi^0$ reconstruction by A. Zinchenko

1. UrQMD Generator;
2. Au+Au;
3. Events 5000;





# Заключение

- “Unfolding” алгоритм работает и обеспечивает максимальную эффективность восстановления э/м кластеров при большой множественности
- Ряд коррекций для координат и энергий восстановленных кластеров вносит существенный вклад в разрешение детектора
- Необходимо продолжить работу по оптимизации алгоритма восстановления кластеров, определению коррекций, восстановления мезонов т.д.
- Финальная задача – быстро работающий код для общественного использования + проработка физических задач

**BACKUP**

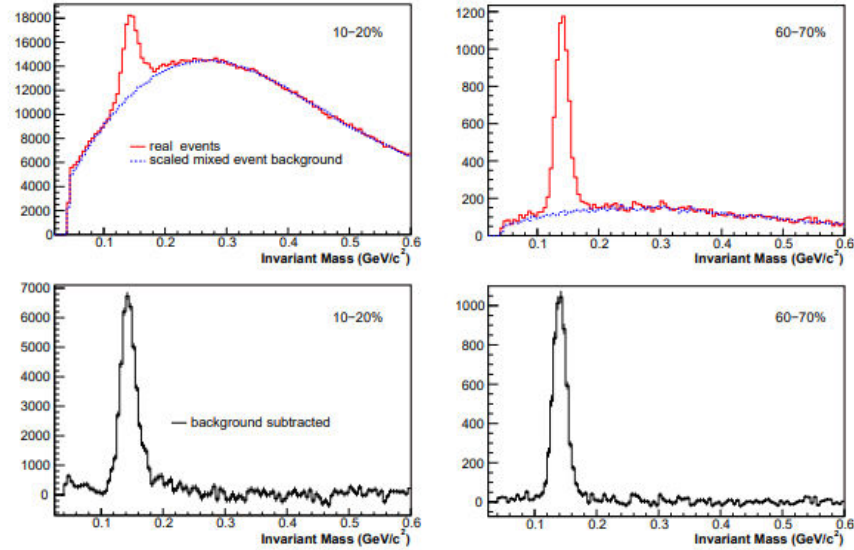


FIG. 3: Invariant mass distributions of pairs of electromagnetic clusters passing photon selection cuts for pair transverse momenta satisfying  $3.0 < p_T < 3.5$  GeV/ $c$ . Top panels:  $m_{\gamma\gamma}$  distributions in Au + Au events compared to a normalized mixed-event sample representing the combinatoric background. Bottom panels: The  $m_{\gamma\gamma}$  distributions after subtraction of the combinatoric background. Left: 10-20% centrality bin, Right: 60-70% centrality bin.