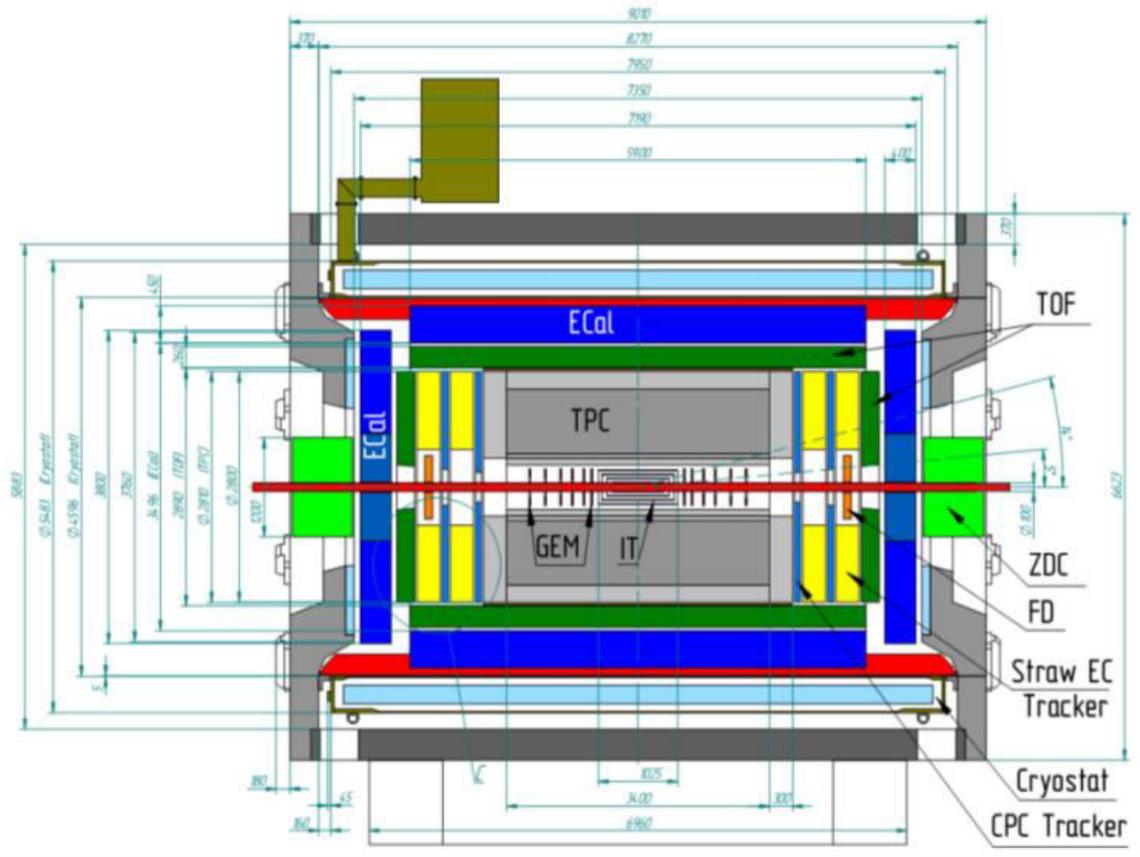


Электромагнитный калориметр MPD

В. Рябов



Физические задачи

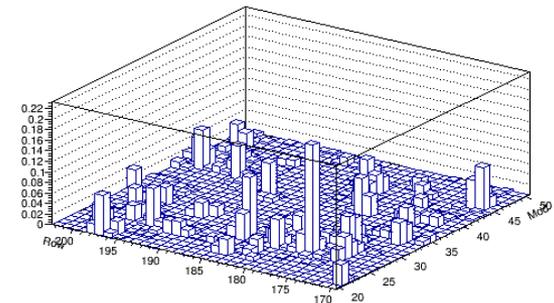
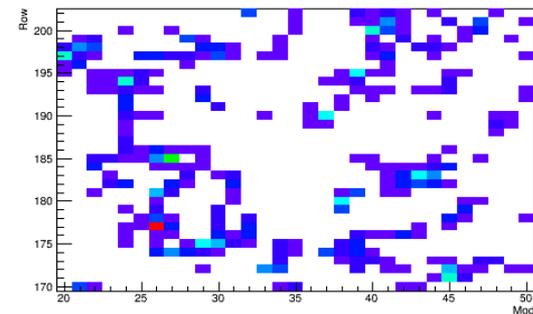
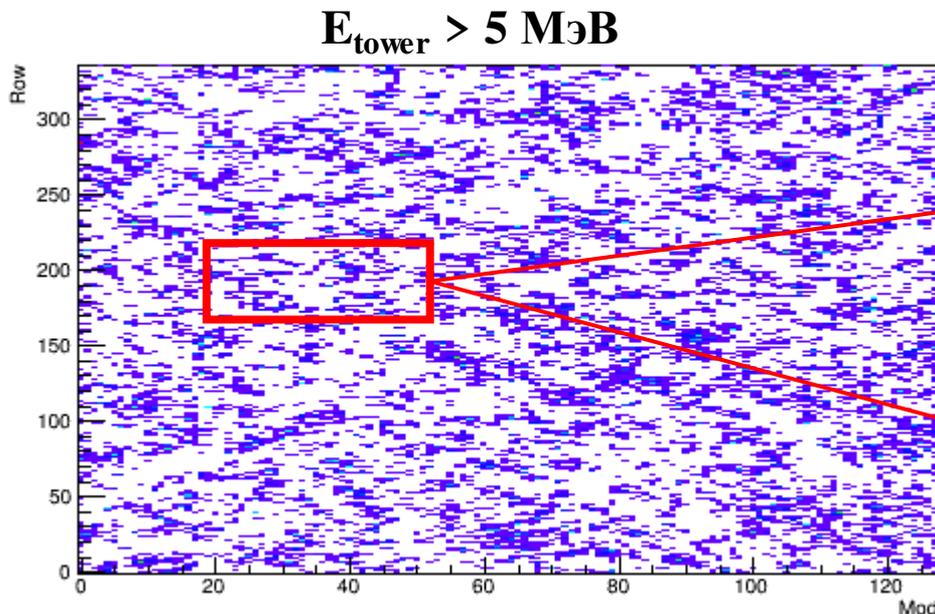
- Фотоны (выход, потоки, НВТ):
 - ✓ инклюзивные
 - ✓ прямые
- Нейтральные мезоны (выход, потоки):
 - ✓ $\pi^0(\eta) \rightarrow \gamma\gamma$
 - ✓ $K_s \rightarrow \pi^0\pi^0$, $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$
- Идентификация электронов, $E/p \sim 1$ (выход, потоки):
 - ✓ e^+e^- континуум
 - ✓ LVM (ρ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

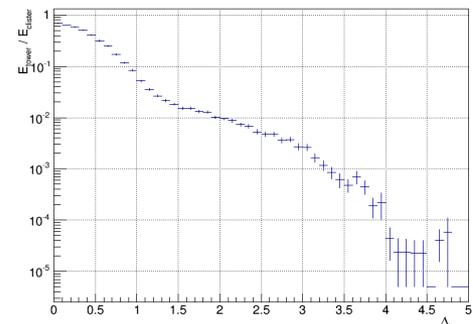
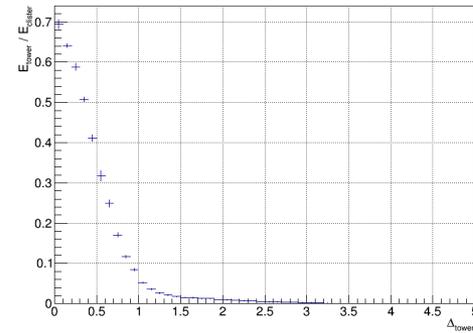
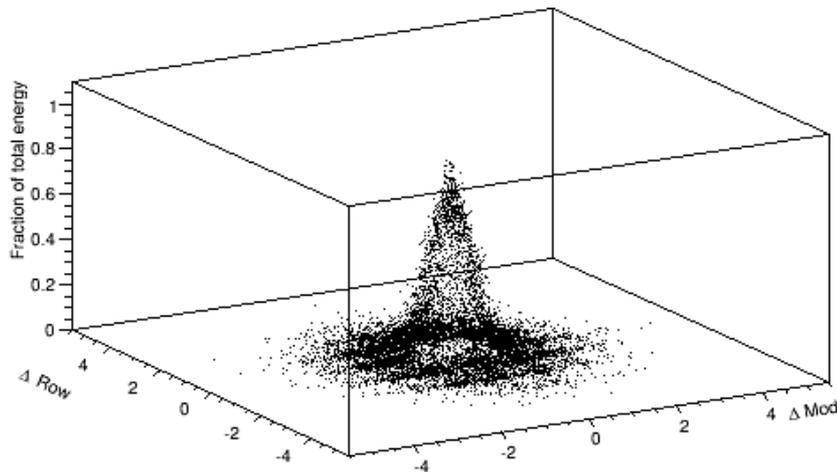


Цепочка моделирования

- Geant: точки в чувствительных элементах калориметра с координатами и энерговыведением
- Digitizer: “измерение” энерговыведения 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

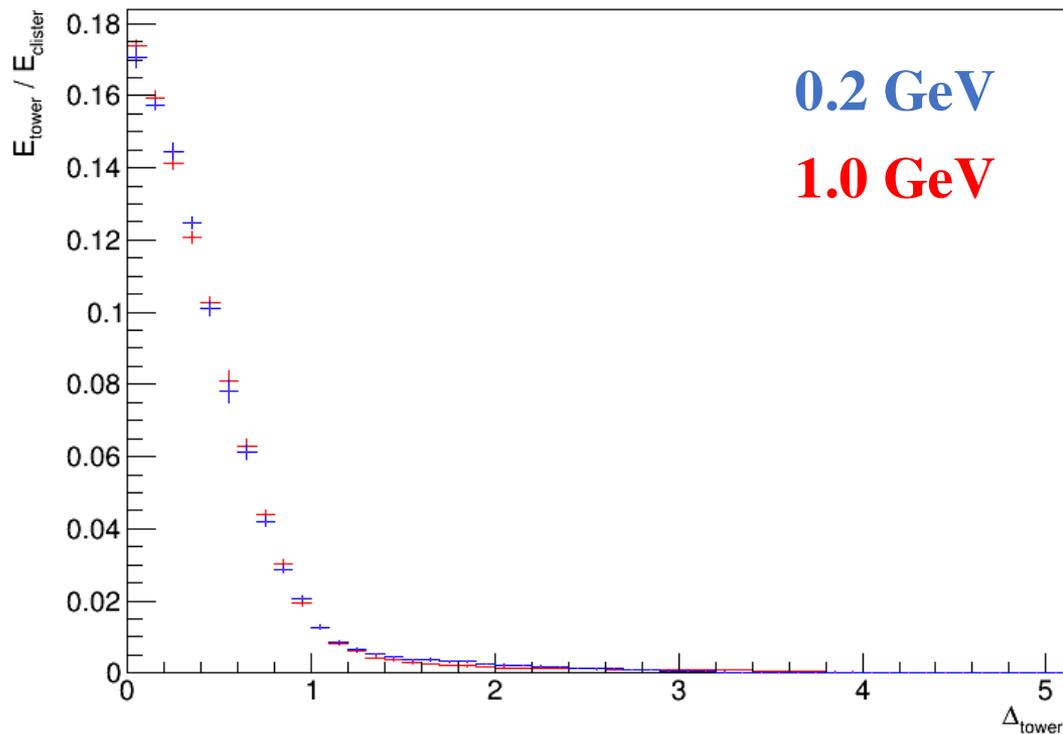
Э/м кластер в ЕСАL-MPD

- 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

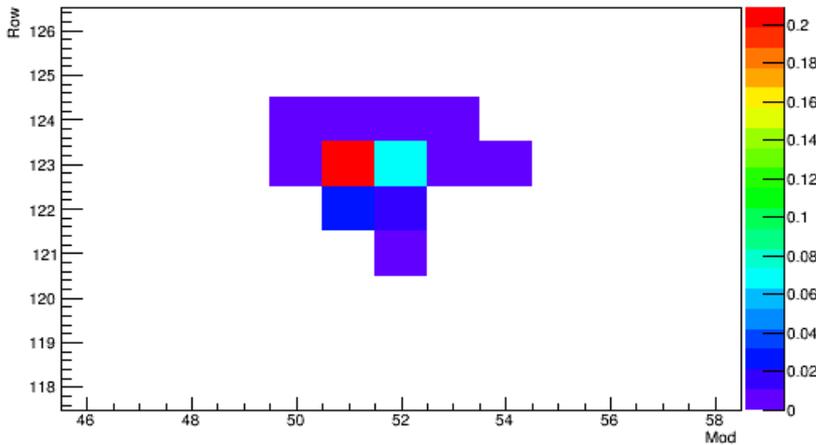
- Повторил процедуру для различных энергий: $E_\gamma = 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ GeV
- Профили э/м кластеров оказались достаточно похожими
- Знание профиля позволяет разделять слипшиеся кластеры



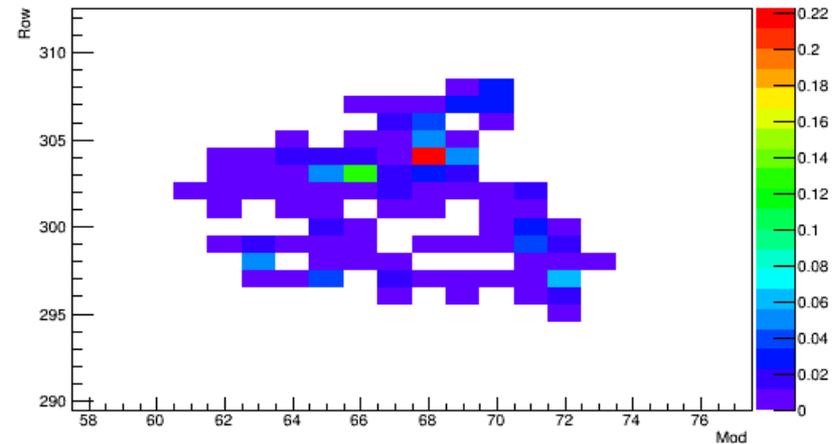
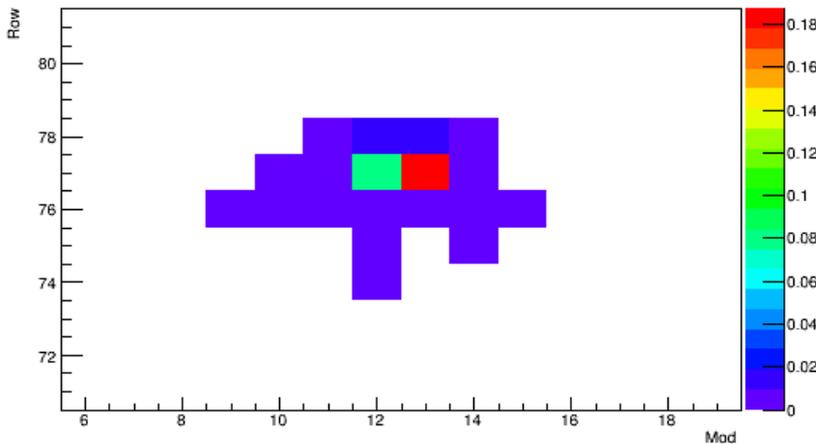
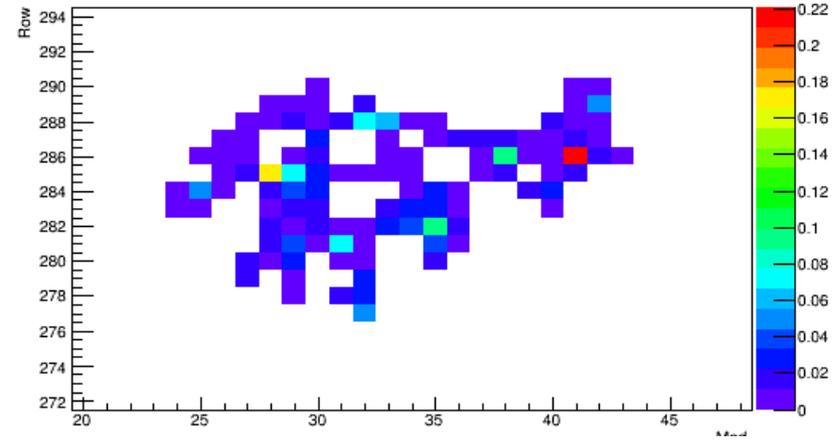
Восстановление кластеров, шаг-1

- 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

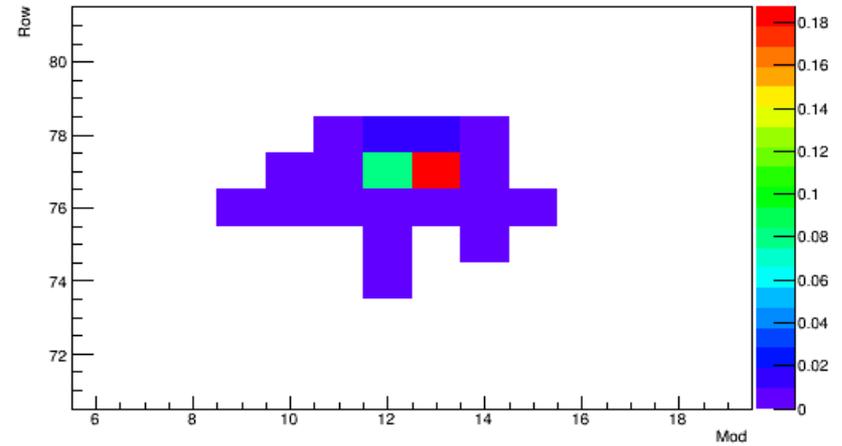
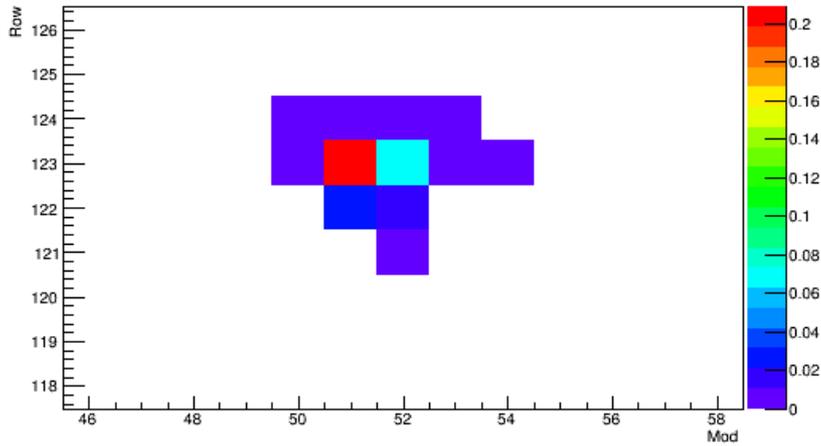


Кластеры с одним максимумом

- Объединяем все башни в один кластер:

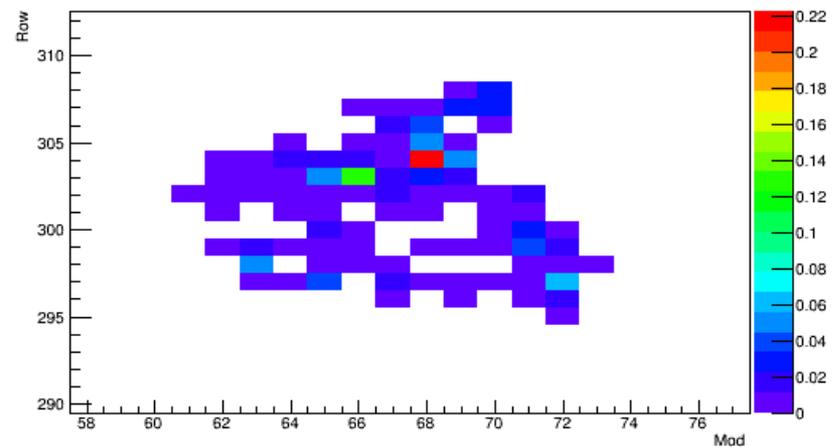
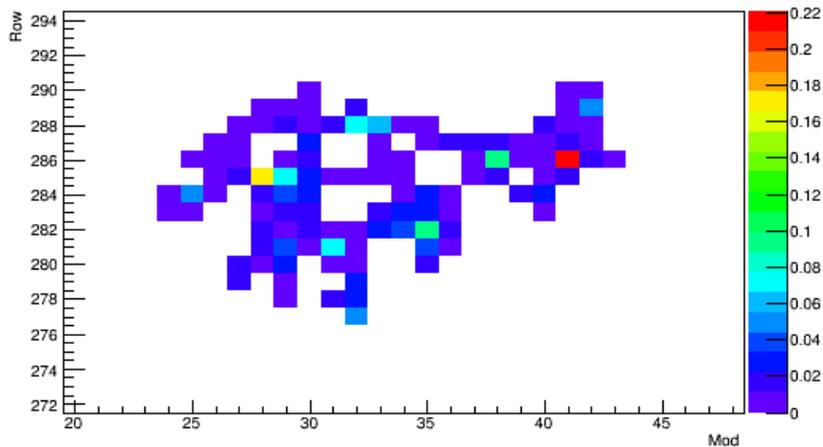
- ✓ $E = \sum E_i$

- ✓ $x = \sum x_i E_i / \sum E_i$



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_{expected}^j), основываясь на известной форме э/м кластера, см. слайд 7
- 4) разделение энергии каждой башни между пре-кластерами:

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

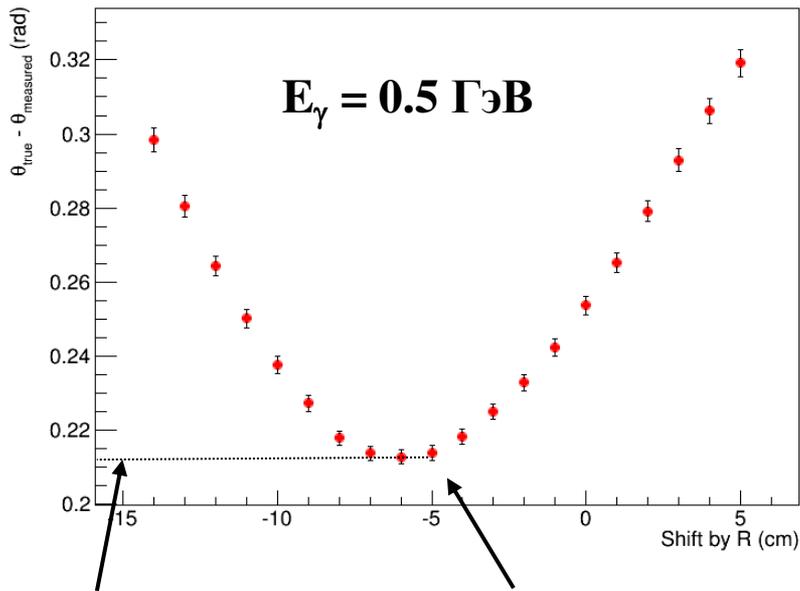
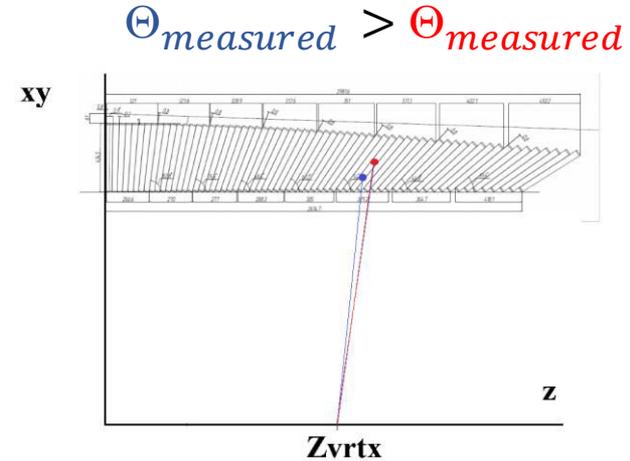
- 5) Переопределение пре-кластеров с использованием $E_{\text{tower}}^{j\text{-cluster}}$, не ограничены в размере 3x3 структурой, нахождение новых E, x
- 6) Повторение шагов (3-5). Процесс сходится в 3-5 итераций

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 Θ_{true} фотона, используя информацию о сгенерированных координатах первичной вершины и (p_x, p_y, p_z) фотона
 - ✓ определил восстановленный угол Θ_{measured} кластера, используя информацию о сгенерированных координатах первичной вершины и измеренных координатах кластера
- Θ_{true} не зависит от калориметра
- Θ_{measured} зависит от глубины кластера в калориметре

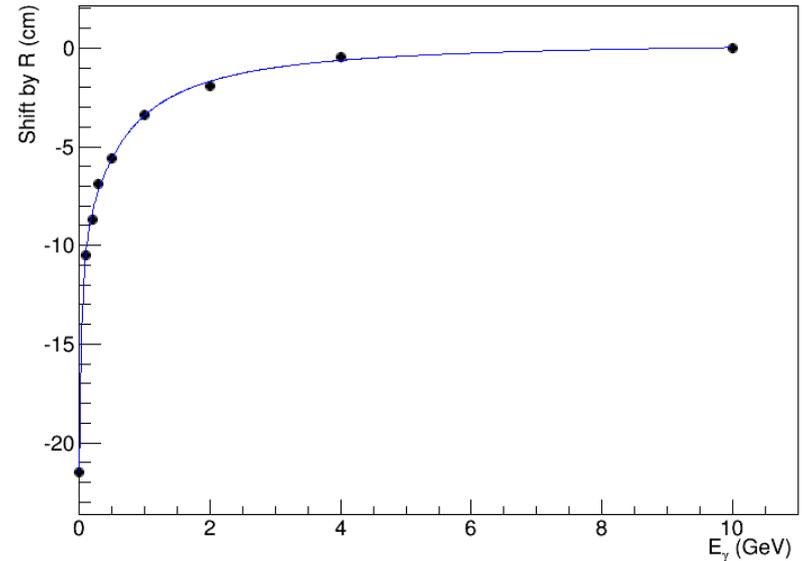
Коррекция координат кластера

- 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_γ



Наилучшее
пространственное
разрешение

Минимальная разница в
сгенерированном и
восстановленном угле



Коррекция на угол падения

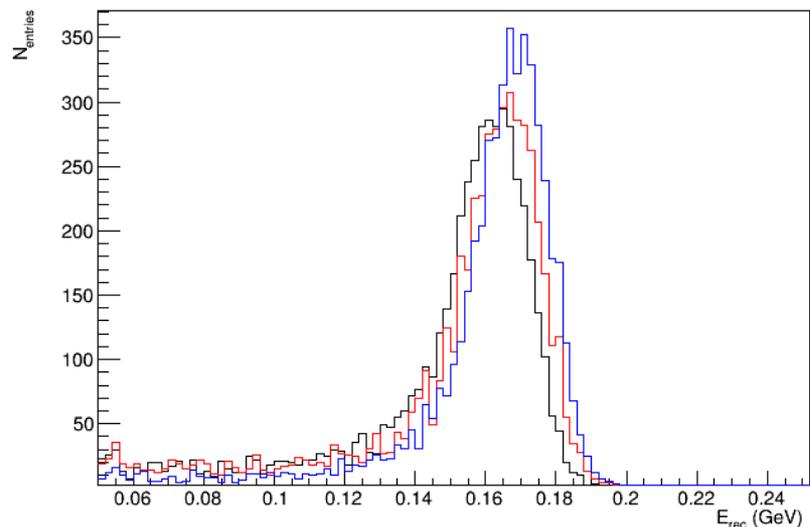
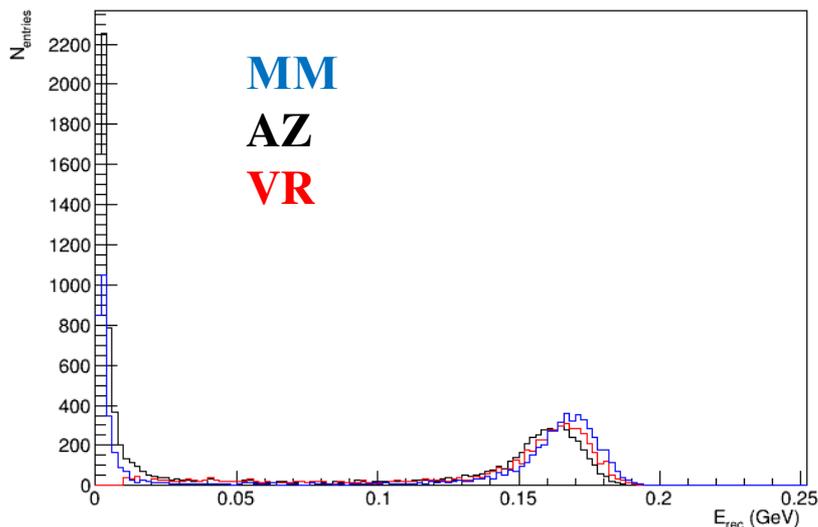
- Из-за широкого распределения событий по Z_{vrtx} угол падения фотонов на поверхность калориметра отличается от нуля
- Зная восстановленные координаты вершины и координаты кластера можно оценить угол наклона “трека” по отношению в поверхности калориметра и ввести соответствующие коррекции к координатам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

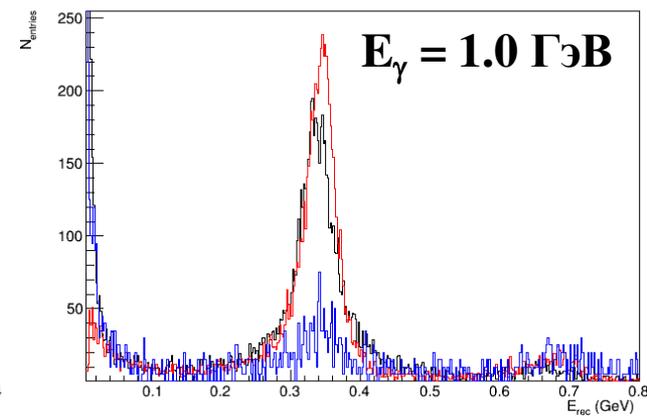
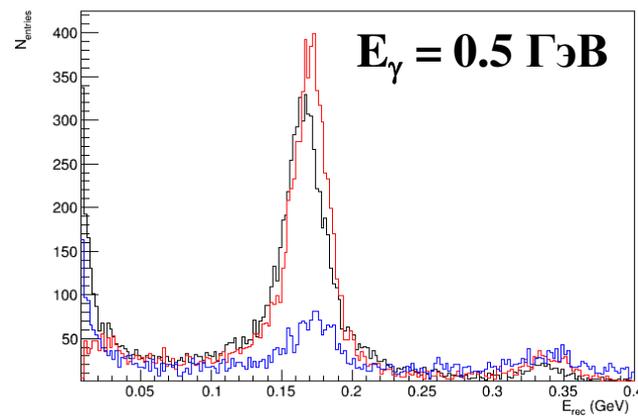
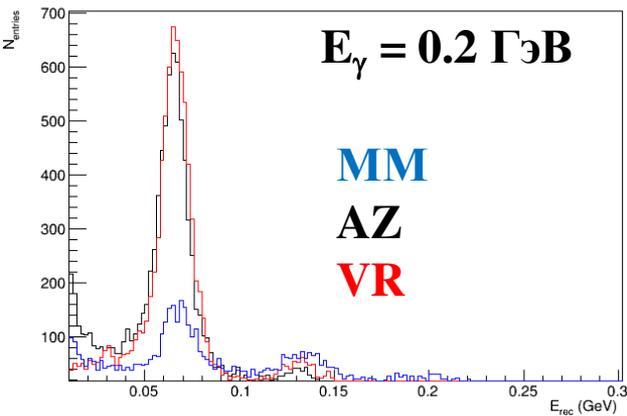
Одиночные фотоны

- 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



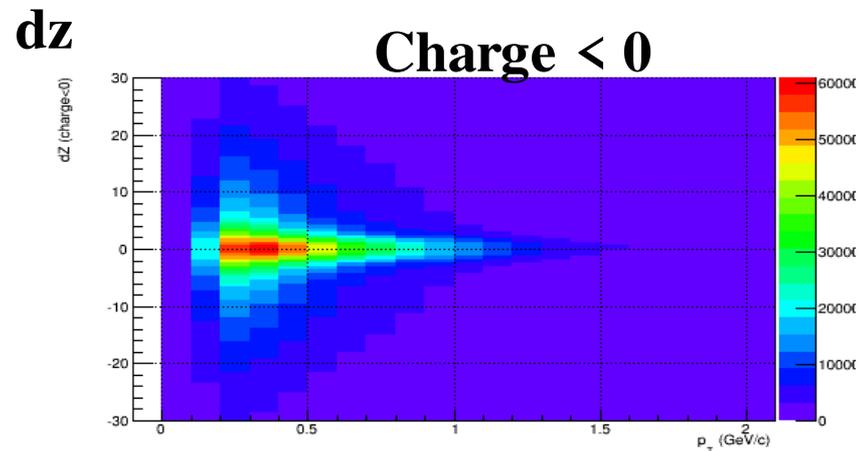
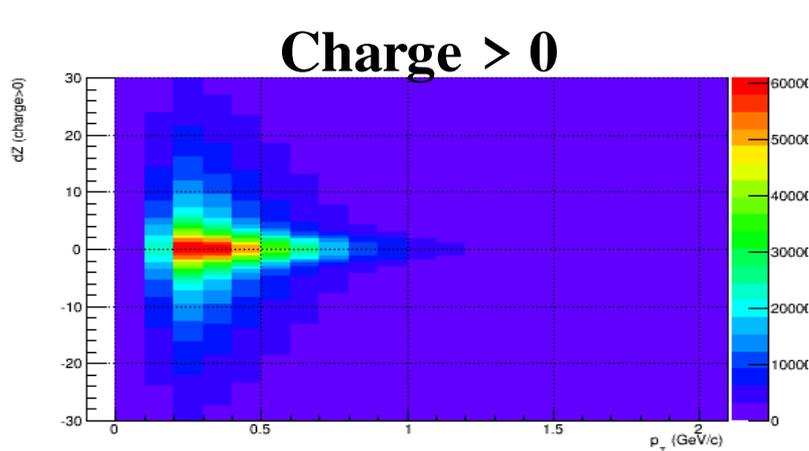
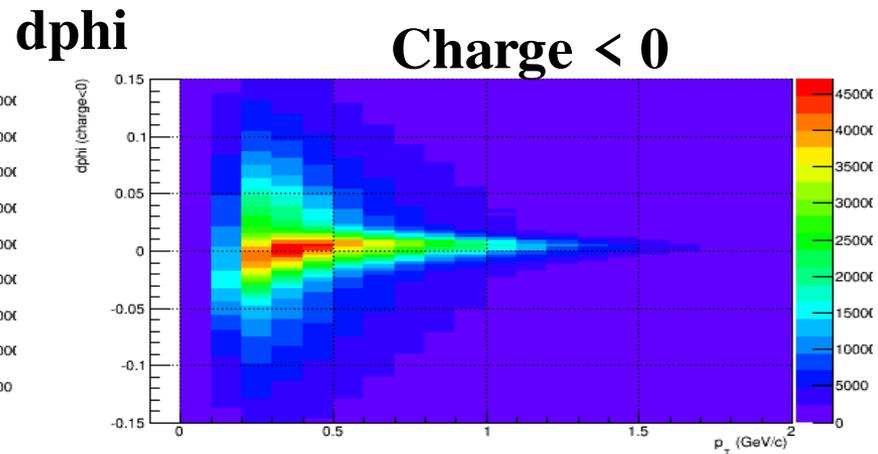
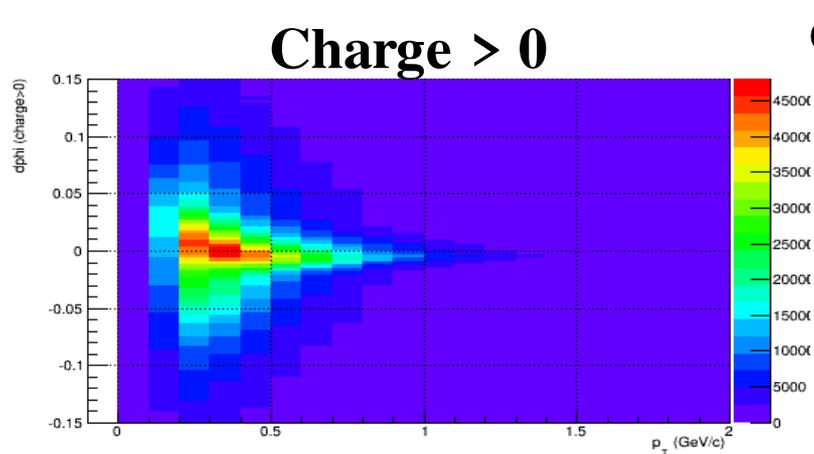
Много фотонов

- 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



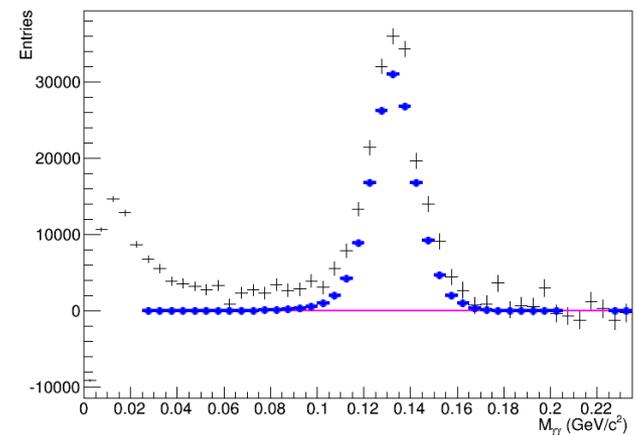
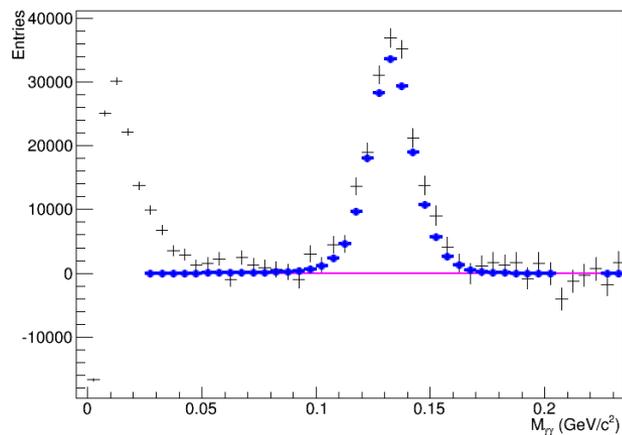
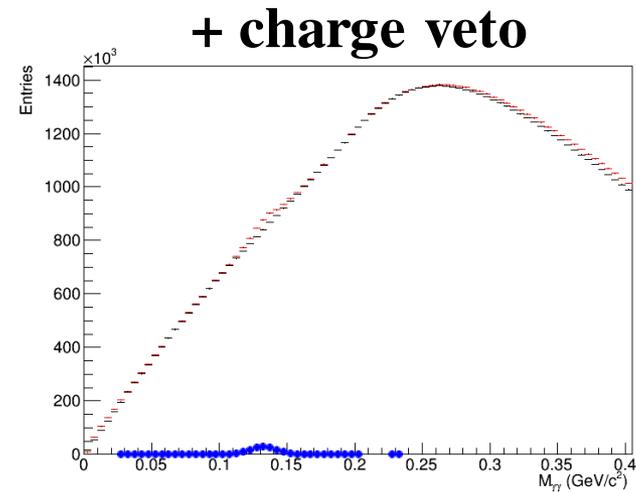
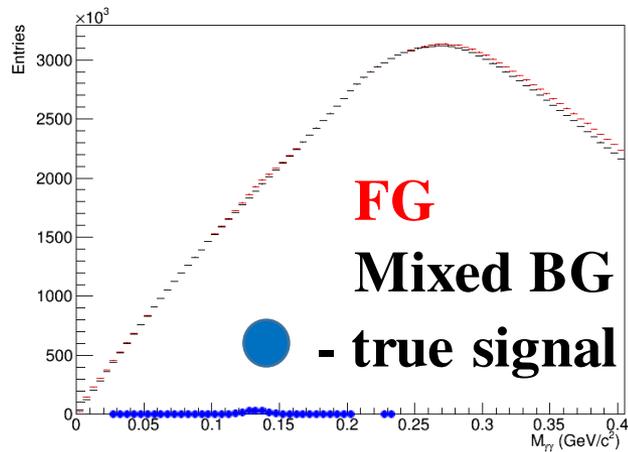
Ассоциация с треками, AuAu@11 (UrQMD)

- 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 ...



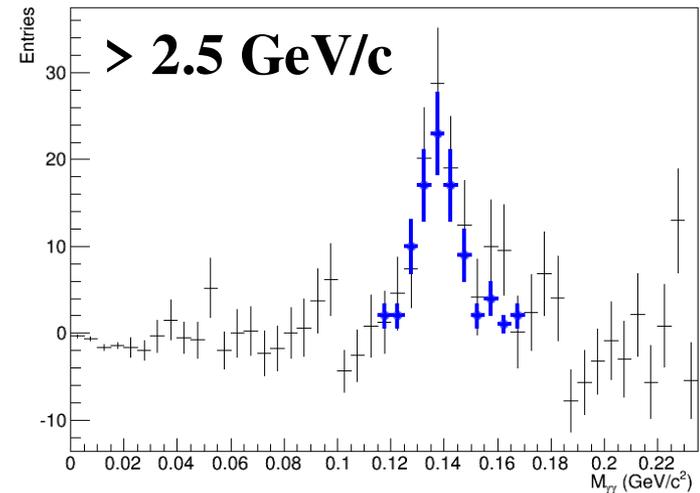
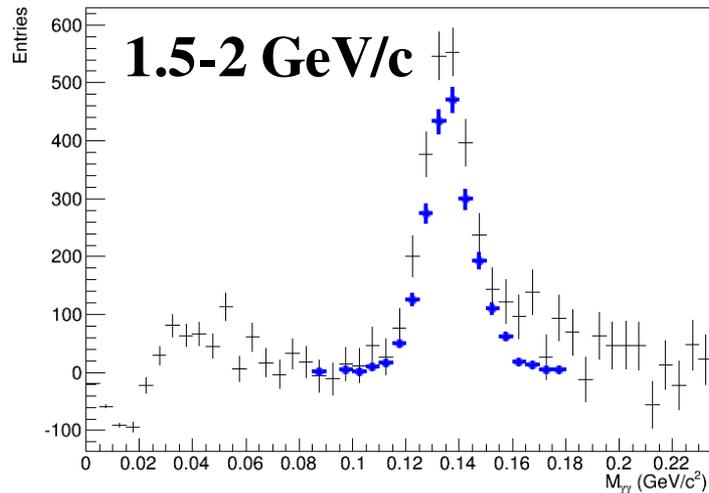
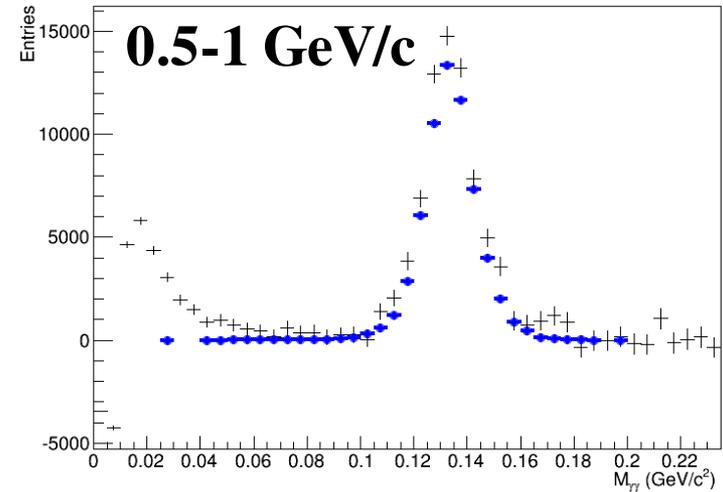
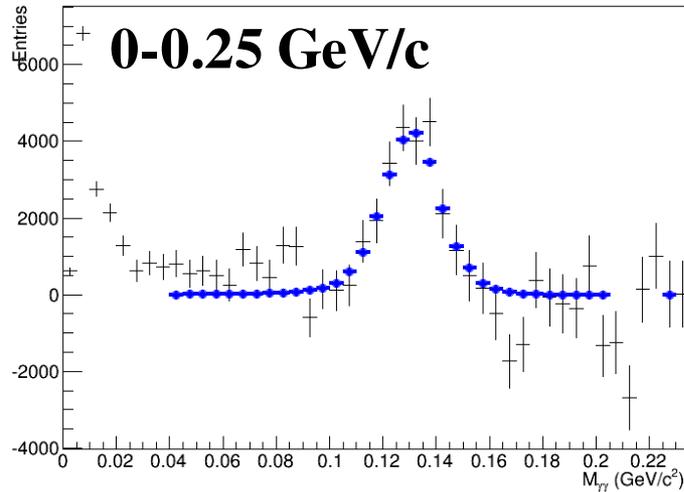
π^0 , AuAu@11 (UrQMD)

- $50 \cdot 10^3$ 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 $N_{particles}$



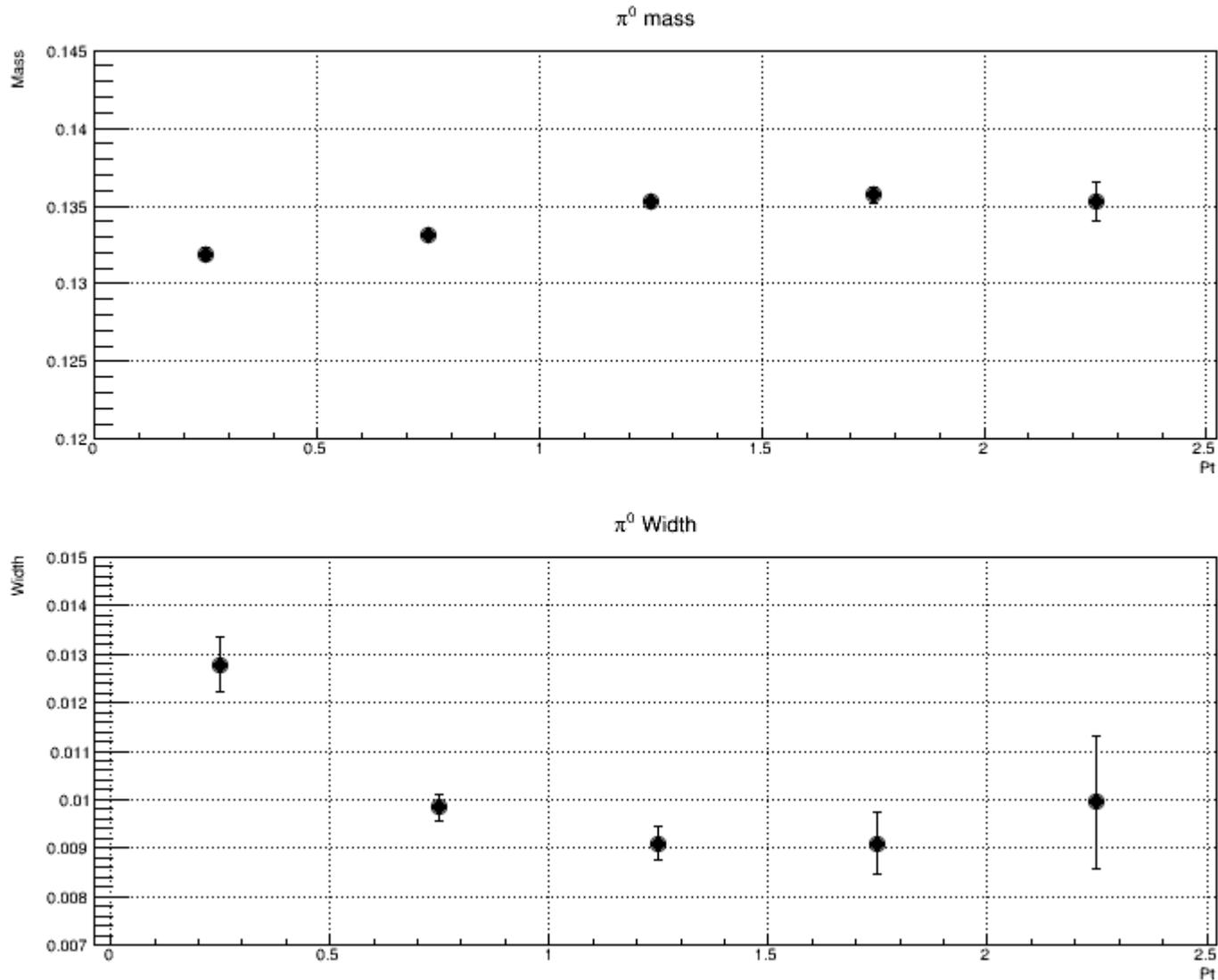
π^0 , AuAu@11 (UrQMD)

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



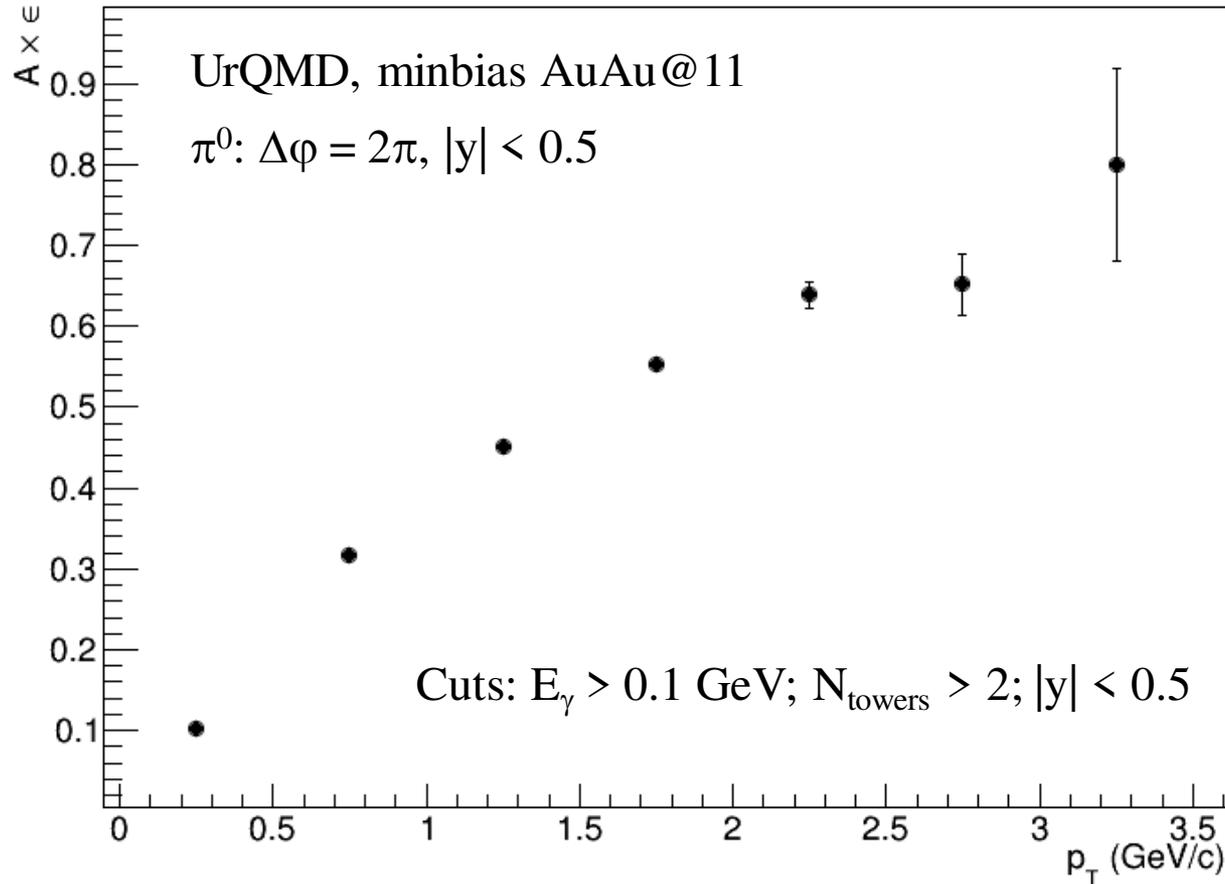
π^0 , AuAu@11 (UrQMD)

- Масса и ширина



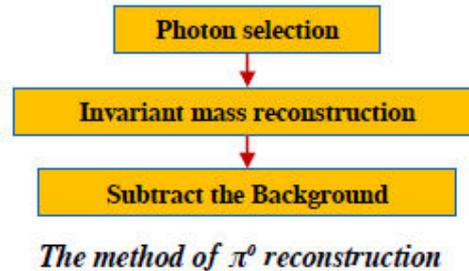
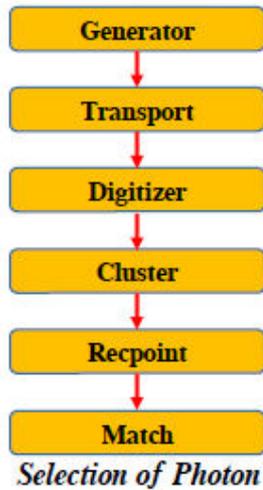
π^0 , AuAu@11 (UrQMD)

- Акцептанс x эффективность: $\Delta\phi = 2\pi$, $|\eta| < 0.5$, размытие вершины



С чем сравнить?

π^0 reconstruction by Yan Huang



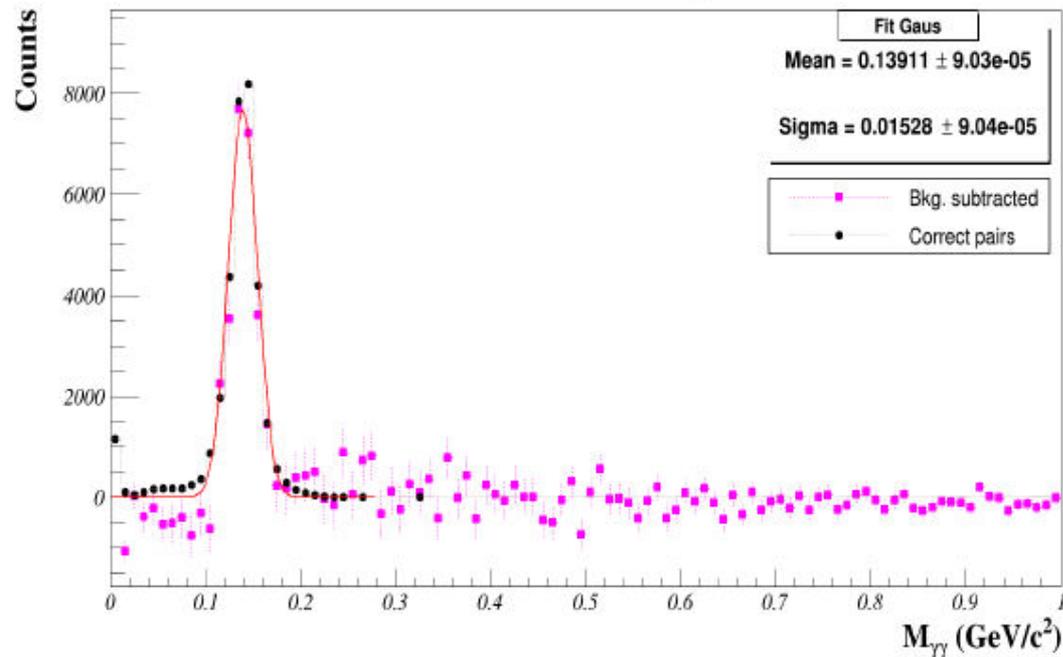
$$x^2 \leq 15.0 \ \&\& \ E/p \leq 0.8$$

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

Event mixed method and scaling

1. HypYpt Generator;
2. Multiplicity 200;
3. Geometry:
 - magnet_v4
 - tpc_v8
 - tof_v7
 - emc_v2

Invariant Mass of $\gamma\gamma$



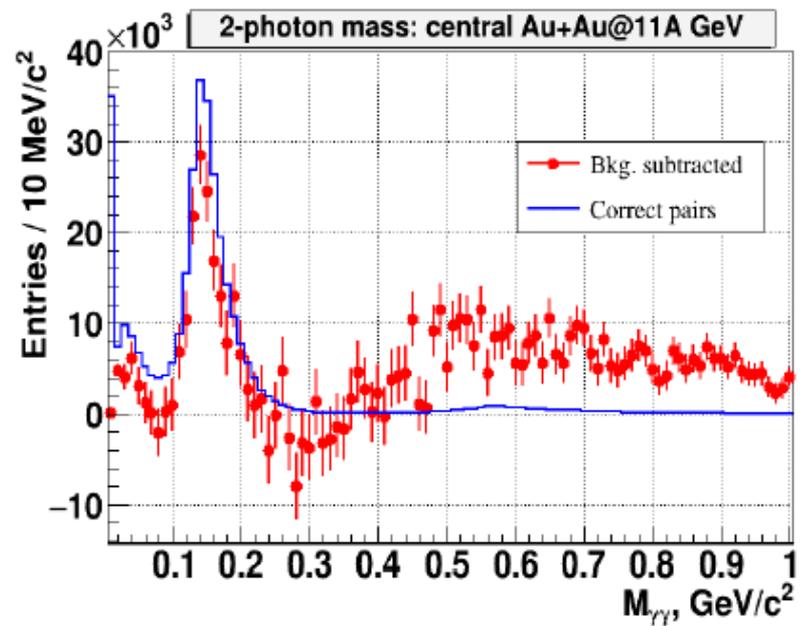
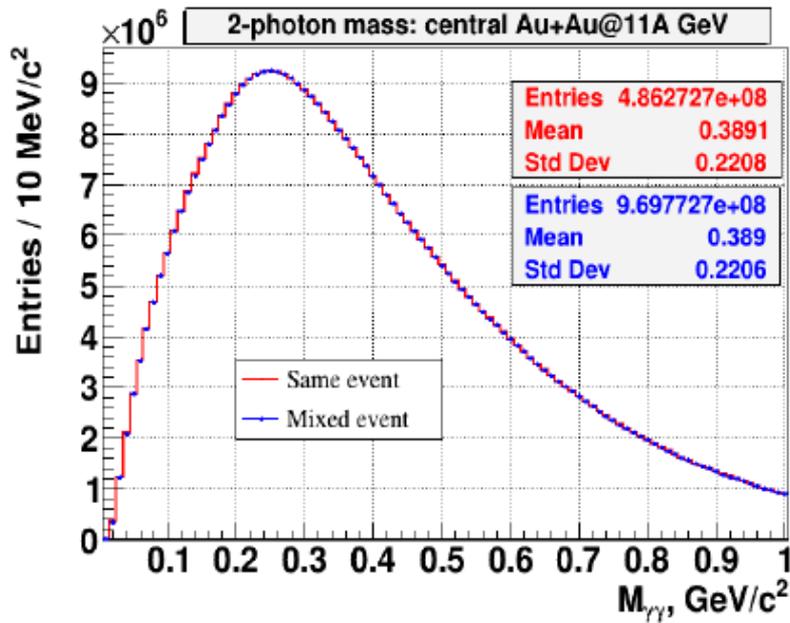
С чем сравнить?

π^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

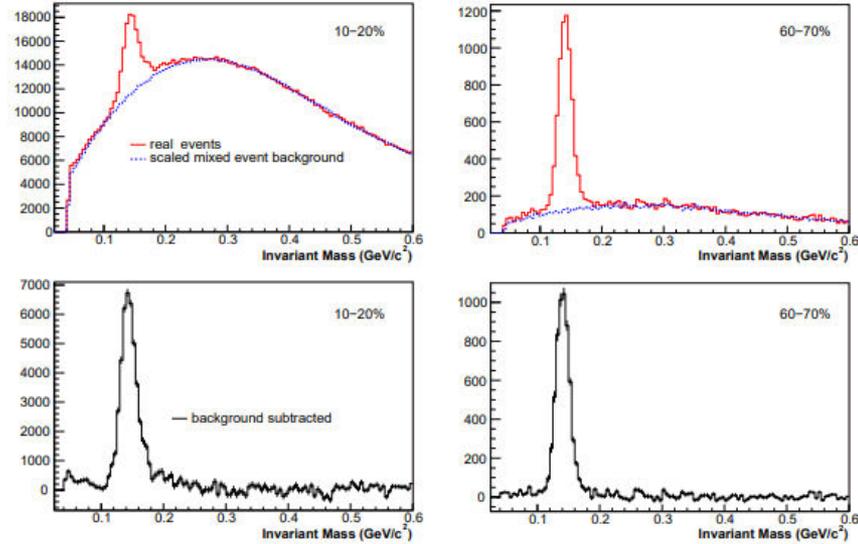


FIG. 3: Invariant mass distributions of pairs of electromagnetic clusters passing photon selection cuts for pair transverse momenta satisfying $3.0 < p_T < 3.5$ GeV/ c . Top panels: $m_{\gamma\gamma}$ distributions in Au + Au events compared to a normalized mixed-event sample representing the combinatoric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