

# Возможность измерения коллективных потоков инклюзивных фотонов и $\pi^0$ в столкновениях $V_i+V_i@9.2$ ГэВ на установке MPD

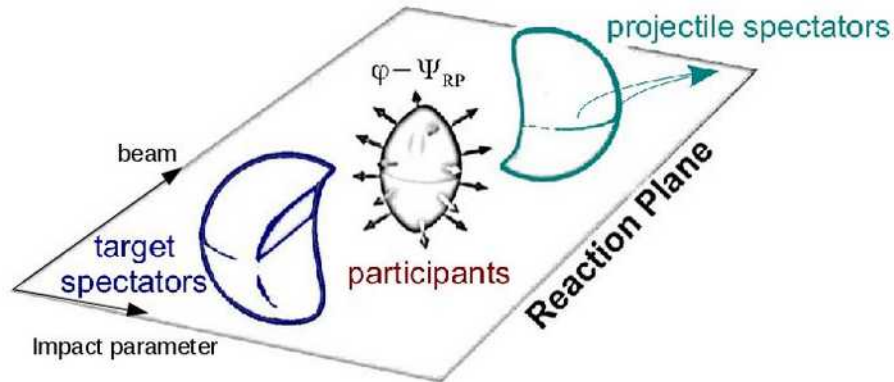
Олег Голосов  
Дмитрий Пересунько  
Евгения Некрасова  
Дмитрий Блау

НИЦ "Курчатовский институт"  
НИЯУ МИФИ

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН  
Дубна, 04/04/2024

# Анизотропные коллективные потоки

Азимутальная асимметрия в координатном пространстве в результате взаимодействия преобразуется в асимметрию импульсного пространства



$$\rho(\phi) = \frac{1}{2\pi} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n \cos(n(\phi - \Psi_s)) \right]$$

$$v_n = \langle \cos(n[\phi - \Psi_s]) \rangle$$

$v_n = v_n(p_T, y, \text{центральность, тип адрона})$   
 $\psi_s$  - плоскость симметрии

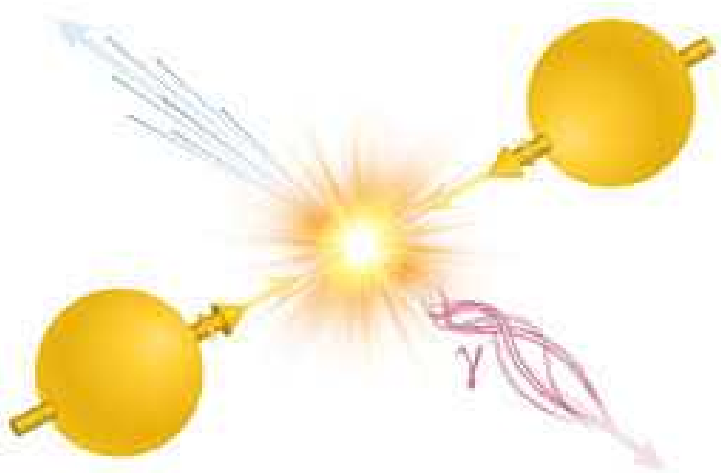
# Коллективные потоки прямых фотонов

## Прямые фотоны

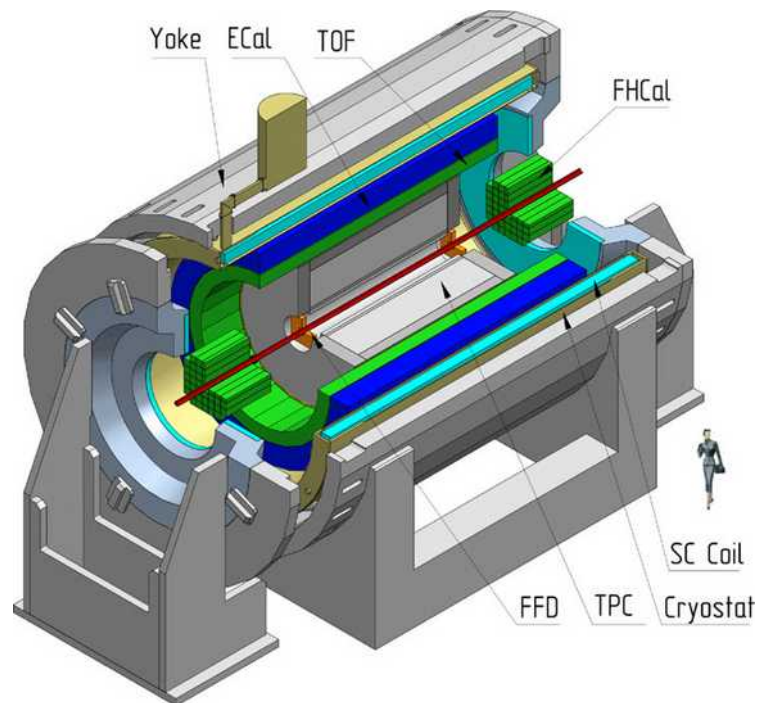
- рождаются в результате электромагнитных процессов в ходе столкновений тяжелых ядер
- не взаимодействуют с другими частицами в зоне столкновения.

## Коллективные потоки прямых фотонов

- изучение позволит прояснить механизмы формирования анизотропных потоков, в том числе на ранних этапах столкновения
- для численной оценки необходимо измерение величины коллективных потоков инклюзивных фотонов и нейтральных пионов



# Эксперимент MPD @ NICA



- Цель - изучение фазовой диаграммы сильно взаимодействующей материи в области высокого барионного химического потенциала
- Регистрация продуктов столкновений тяжелых ионов при энергиях 4-11 ГэВ.

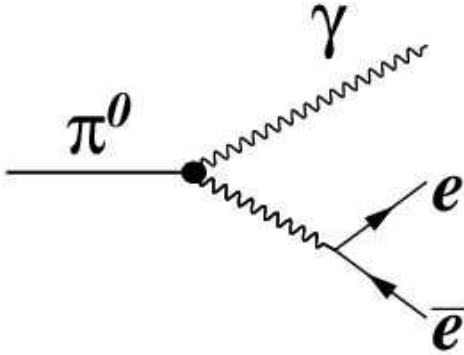
## Основные подсистемы

- Время-проекционная камера (TPC)
- Время-пролетная система (TOF)
- Электромагнитный калориметр (ECal)
- Передние адронные калориметры (FHCAL)

# Описание анализа

- Данные: реконструкция симулированного отклика детектора MPD на частицы из генератора UrQMD, столкновения  $Bi+Bi$  @ 9.2 GeV.
- Отбор событий:
  - успешно восстановленная первичная вершина в пределах 40 см от центра детектора.
  - ~20М событий после отбора.
- Плоскость симметрии события из асимметрии распределения энергии, зарегистрированной передними адронными калориметрами FHCAL
- Разрешение плоскости симметрии - метод двух подсобытий.

# Методы реконструкции фотонов и $\pi^0$



## Два метода реконструкции фотонов

- Калориметрический - сигнал в электромагнитном калориметре ECal
- Конверсионный - комбинация  $e^+e^-$  из TPC

## Три метода реконструкции $\pi^0$ из пары фотонов:

- Калориметрический (оба фотона зарегистрированы ECal)
- Гибридный (ECal + конвертировавший фотон)
- Конверсионный (два конвертировавших фотона)

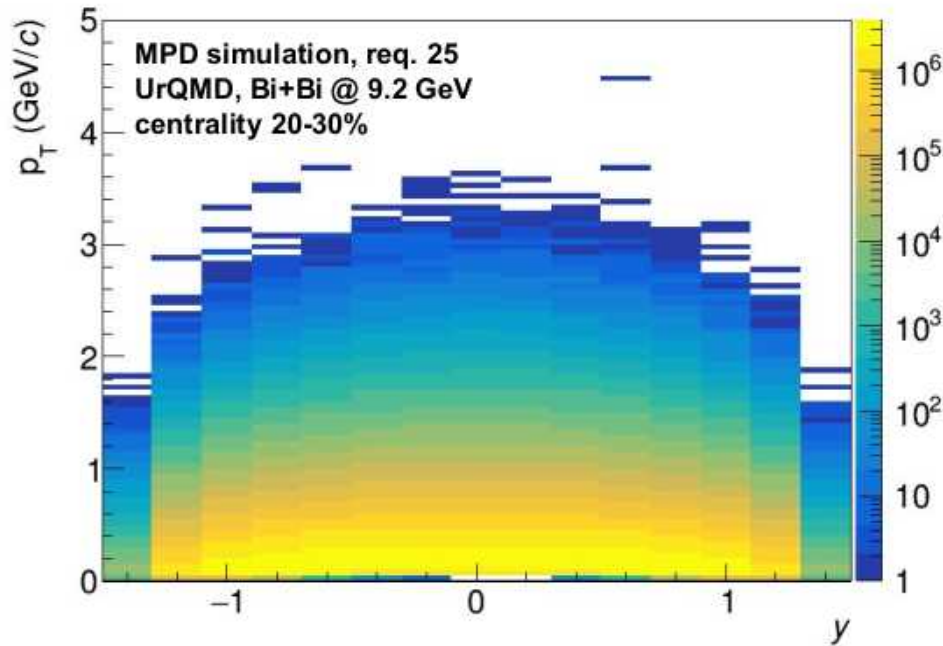
*Конверсионный метод обладает наибольшим разрешением по импульсу, однако наименьшей эффективностью реконструкции.*

# Отбор кластеров и пар $e^+e^-$

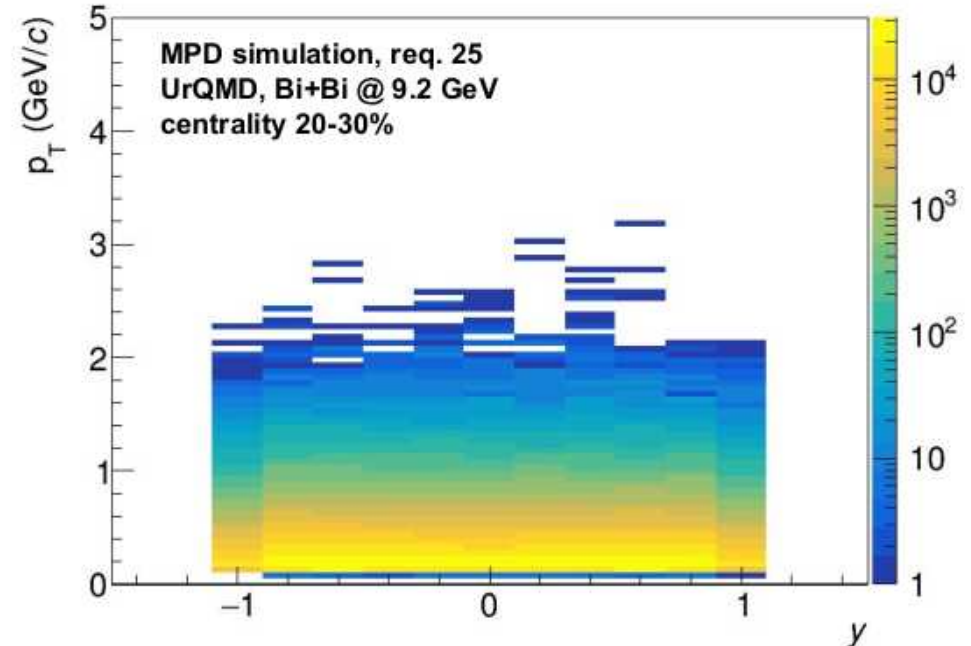
- Отбор кластеров в Ecal:
  - $E_{\text{core}} > 50 \text{ MeV}$
  - минимум 2 ячейки
  - расстояние до ближайшего трека  $> 1 \text{ см}$
  - максимальное время пролета фотона до калориметра
- Отбор треков для реконструкции конверсионных фотонов:
  - $> 10$  хитов в TPC
  - $|\eta| > 1$
  - $p_T > 0.05 \text{ GeV}/c$
  - значение  $dE/dx$  в пределах  $5\sigma$  от ожидаемого для электрона
- Отбор пар  $e^+e^-$ 
  - треки частиц разных зарядов
  - $M_{\text{inv}} < 50 \text{ MeV}/c^2$
  - минимальное расстояние между треками  $< 1.2 \text{ см}$
  - отбор по распределению Арментарос-Подольянского
  - качество аппроксимации вторичной вершины

# Эффективность регистрации первичных\* фотонов

Калориметрический метод



Конверсионный метод



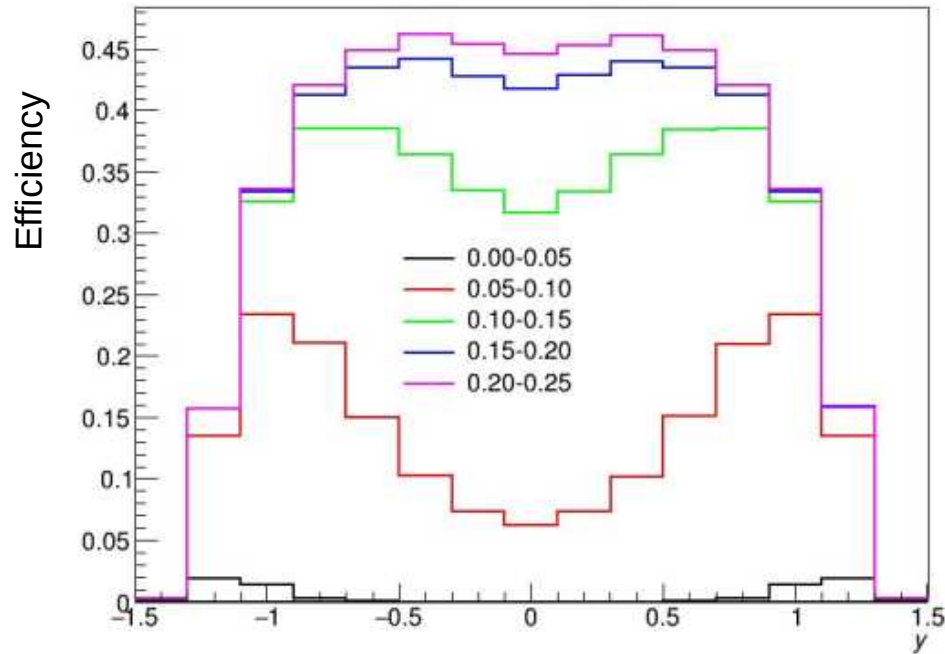
\* рожденных не далее 1 см от первичной вершины столкновения

\*\*в модели UrQMD бóльшая часть фотонов происходит из распадов  $\pi^0$

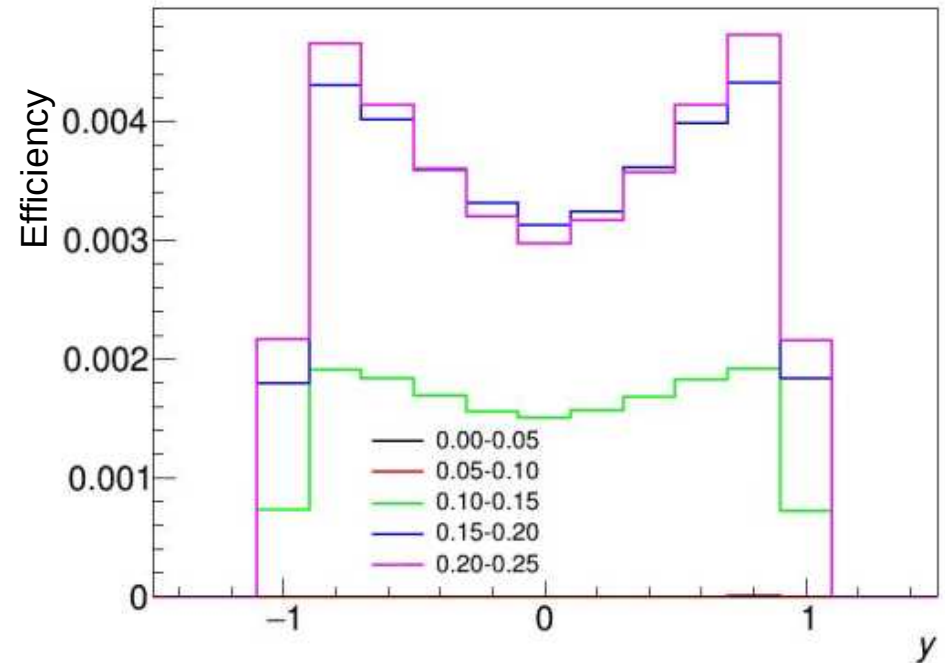


# Эффективность регистрации первичных фотонов

Калориметрический метод

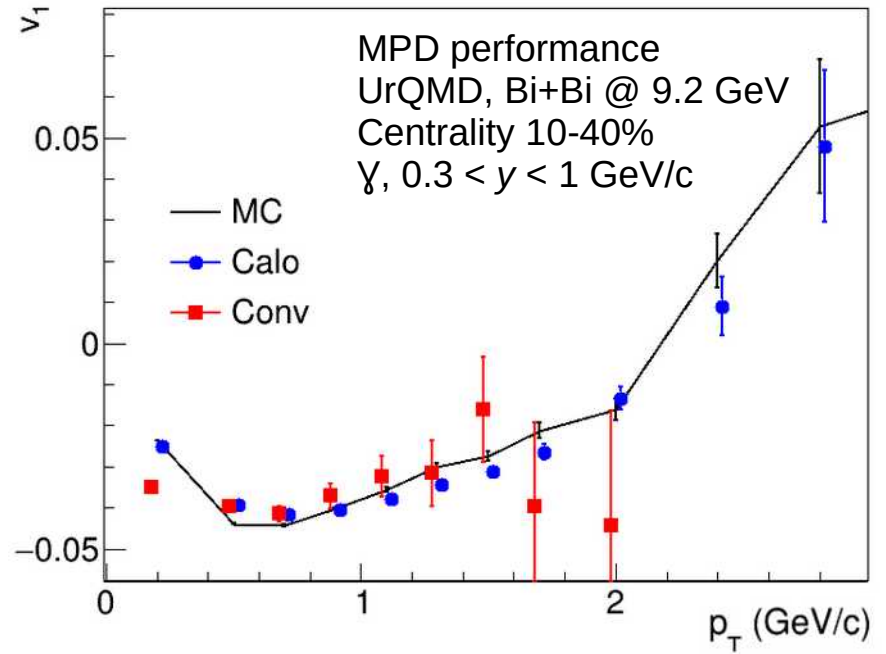
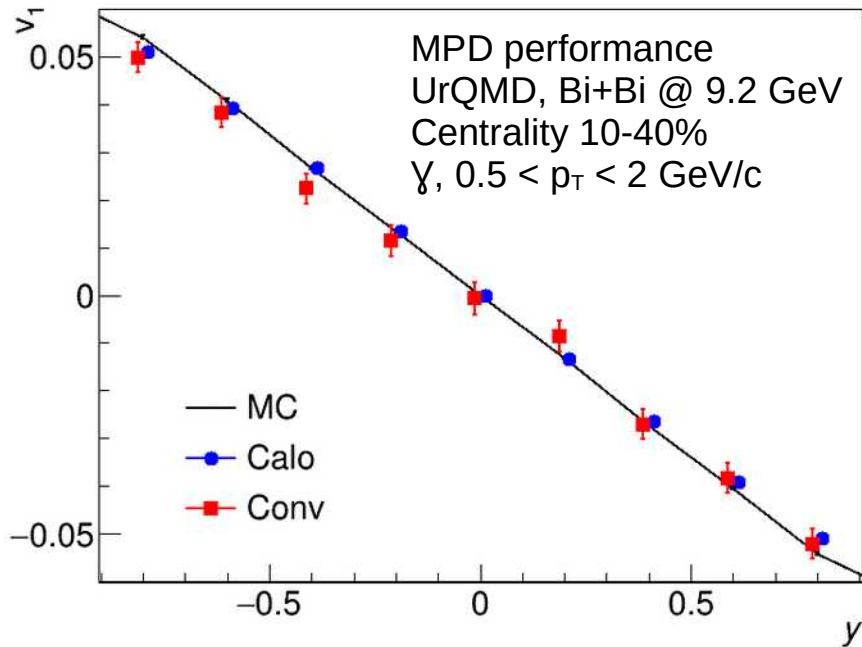


Конверсионный метод



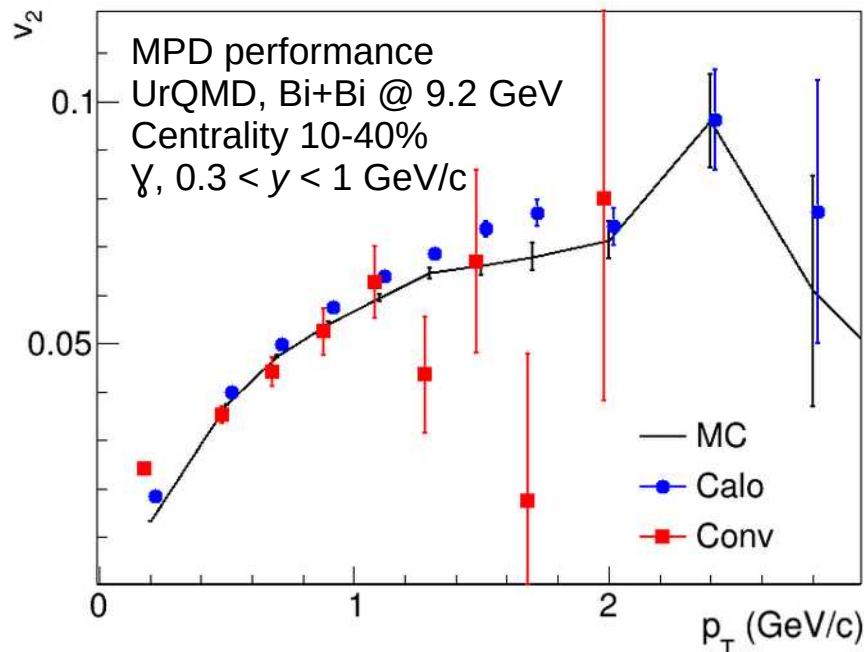
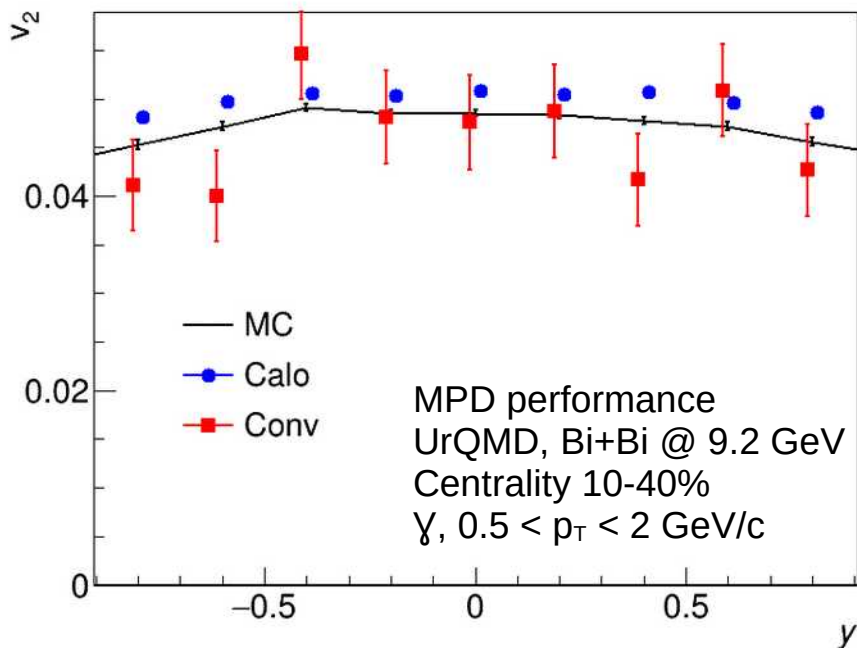
- Эффективность регистрации в ECal резко падает в области центральных быстрот и низких  $p_T$ . Требуется оптимизация по энергии кластеров.
- Низкая эффективность конверсионного метода в целом.
- Поправка на эффективность регистрации путем взвешивания при корреляции частиц с плоскостью симметрии

# Направленный поток инклюзивных фотонов



- Хорошее согласие со значениями из генератора столкновений для обоих методов
- Конверсионный метод требует более высокой статистики

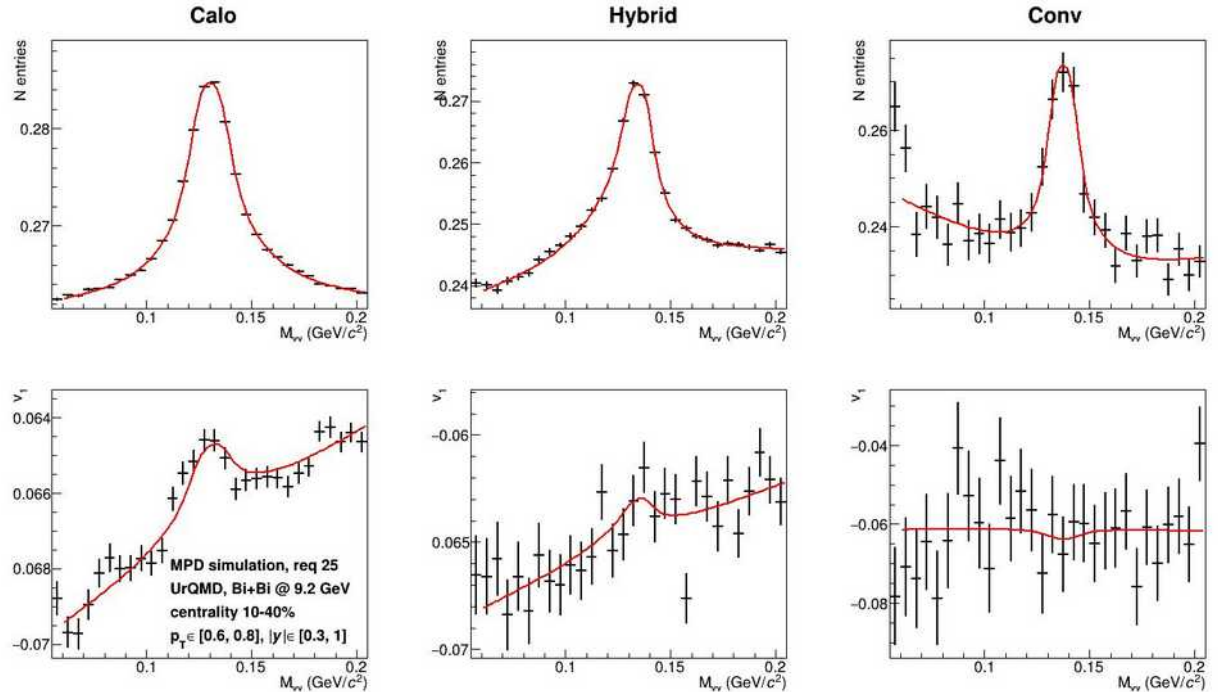
# Эллиптический поток инклюзивных фотонов



- Ограниченное согласие со значениями из генератора столкновений в области средних поперечных импульсов
- Конверсионный метод требует более высокой статистики

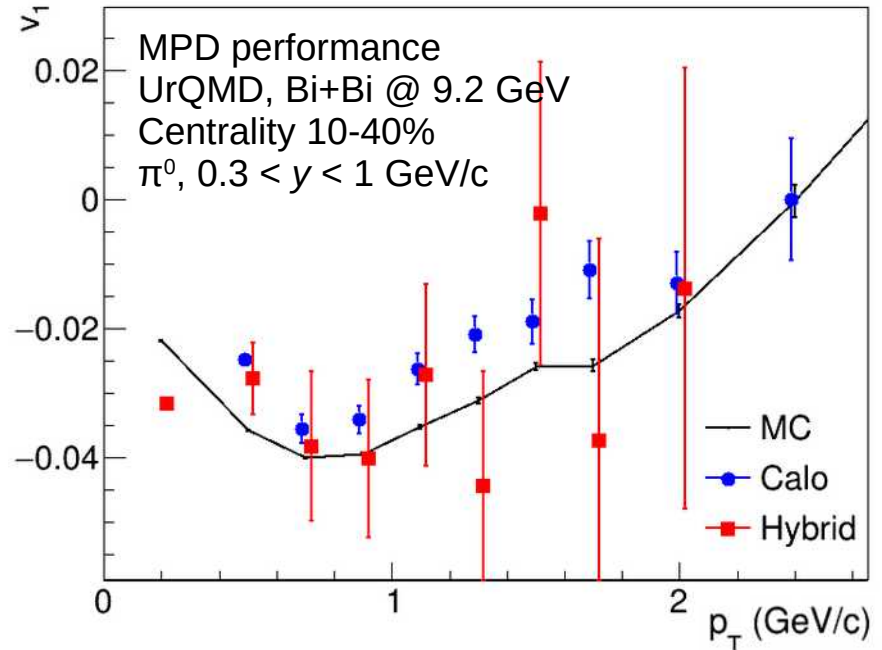
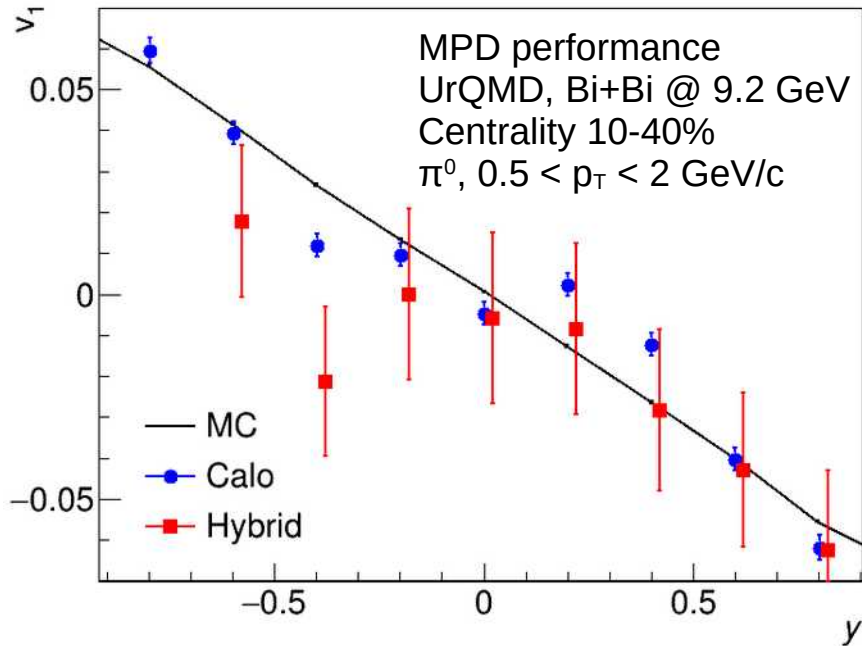
# Вычисление потоков нейтральных пионов

- Фитируется зависимость  $V_n$  от инвариантной массы пары фотонов представленной ниже функцией
- $V_{sig}$  и  $V_{bg}$  - свободные параметры,  $n_{sig}$  и  $n_{bg}$  определяются путем фитирования распределений пар фотонов по инвариантной массе
- Использование конверсионного метода в рамках имеющейся статистики не представляется возможным



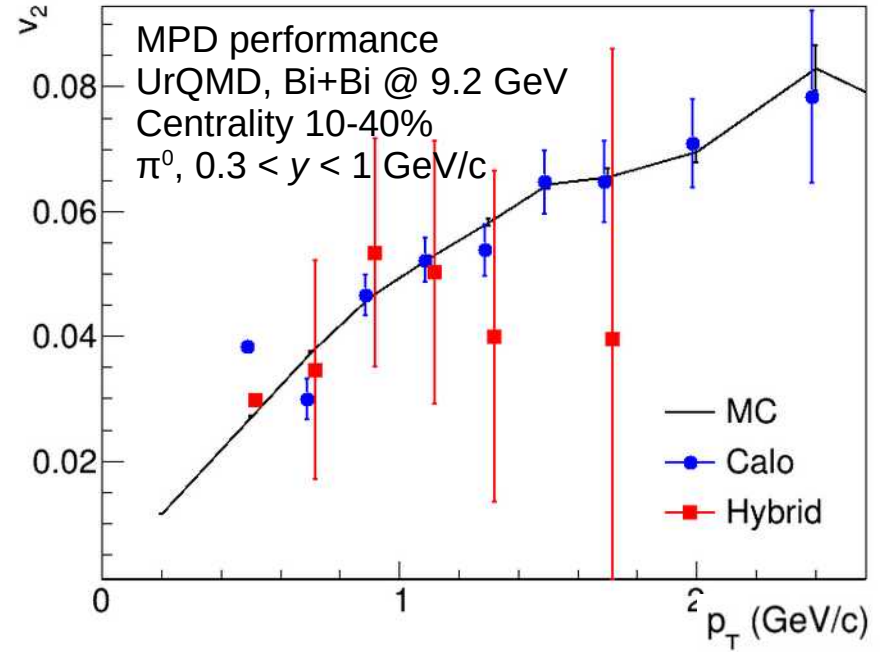
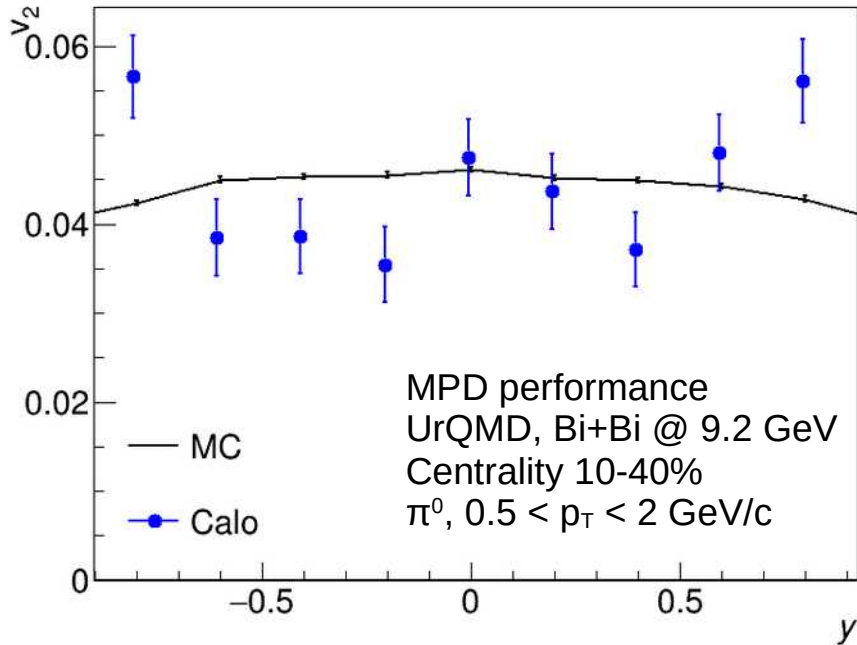
$$v_{all}(M_{inv}) = \frac{n_{sig}(M_{inv})v_{sig} + n_{bg}(M_{inv})(v_{bg}^{const} + v_{bg}^{lin} * M_{inv})}{n_{sig}(M_{inv}) + n_{bg}(M_{inv})}$$

# Направленный поток нейтральных пионов



- Для обоих методов зависимости качественно согласуются с генераторными значениями
- Систематическое отклонение для калориметрического метода – влияние акцептанса ECal?
- Гибридный метод требует более высокой статистики

# Эллиптический поток нейтральных пионов



- Качественное согласие со значениями из генератора
- Низкая амплитуда эллиптического потока требует более высокой статистики для обоих методов

# Заключение

- Измерения направленного и эллиптического потоков инклюзивных фотонов и нейтральных пионов в столкновениях  $V_i+V_i$  @ 9.2 GeV в эксперименте MPD принципиально возможно с относительно высокой точностью
- При наличии достаточной статистики возможна независимая проверка результатов с использованием гибридного и конверсионного методов
- Калориметрический метод дает систематические отклонения, требующие дополнительного изучения
- Для получения более точной оценки исследование необходимо провести с использованием генератора с реалистичными потоками прямых фотонов и нейтральных пионов.