

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

Олег Голосов
Дмитрий Пересунько
Евгения Некрасова
Дмитрий Блау

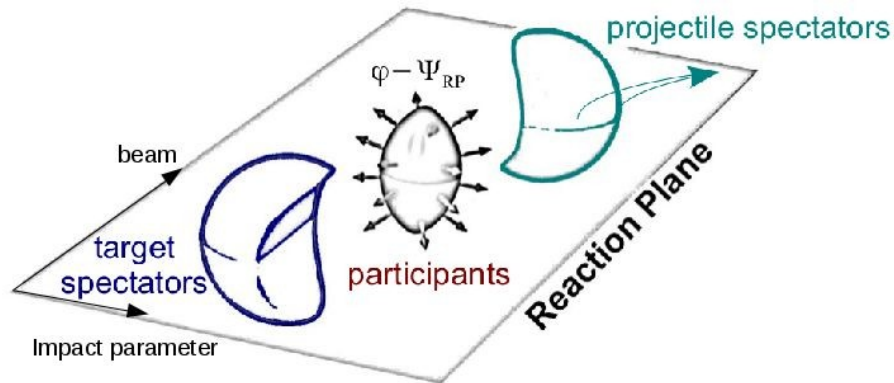
НИЦ "Курчатовский институт"
НИЯУ МИФИ

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ, проект
"Фундаментальные и прикладные исследования на экспериментальном комплексе класса мегасайенс
NICA" № FSWU-2024-0024

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

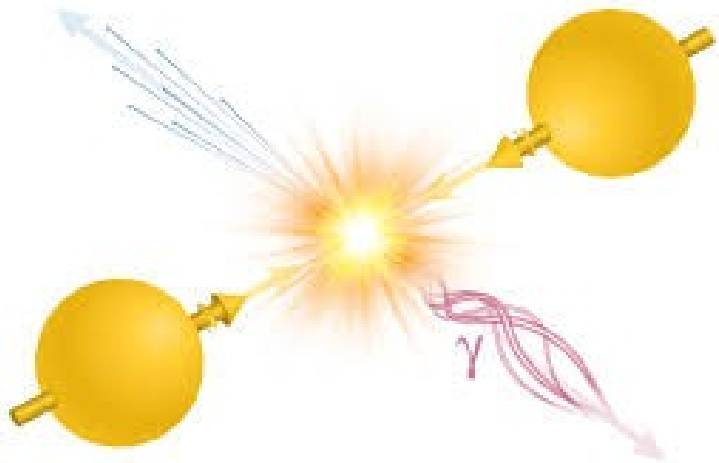


$$\rho(\phi) = \frac{1}{2\pi} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n \cos(n(\phi - \Psi_s)) \right]$$

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

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

Коллективные потоки прямых фотонов



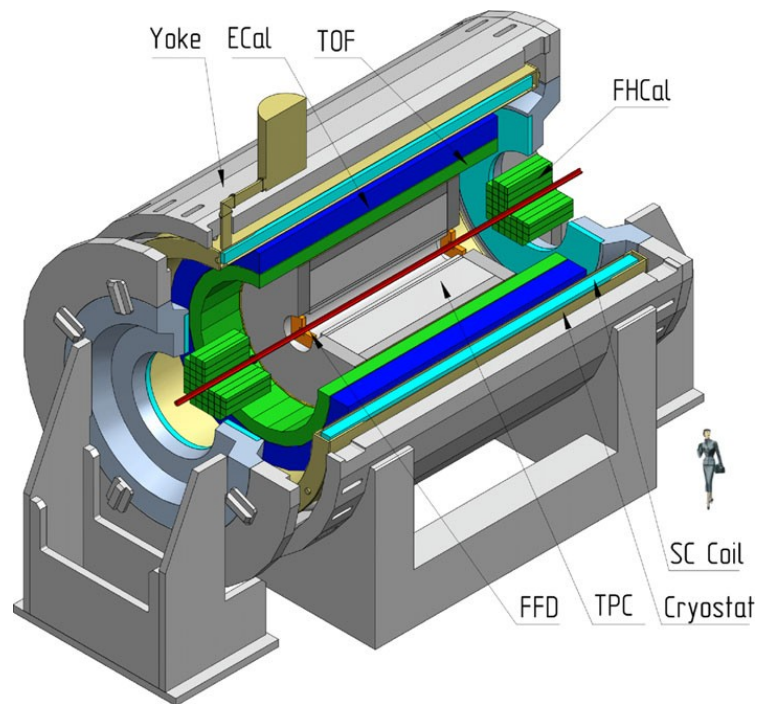
Прямые фотоны

- 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.

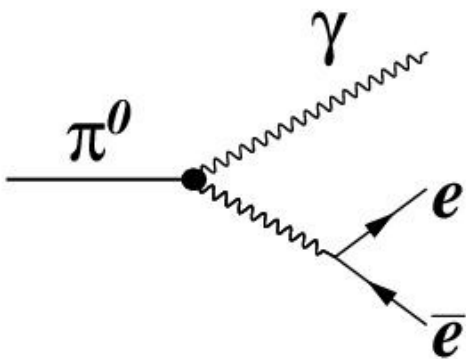
Основные подсистемы

- 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 FNCal
- Разрешение плоскости симметрии - метод двух подсобытий.

Методы реконструкции фотонов и π^0



Два метода реконструкции фотонов

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

Три метода реконструкции π^0 из пары фотонов:

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

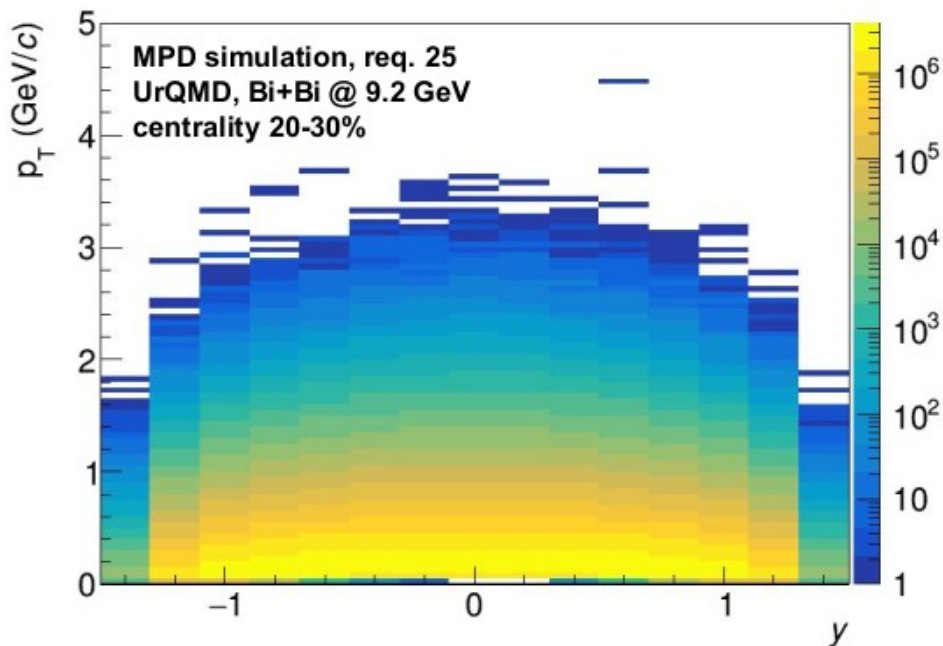
Конверсионный метод обладает наибольшим разрешением по импульсу, однако наименьшей эффективностью реконструкции.

Отбор кластеров и пар e^+e^-

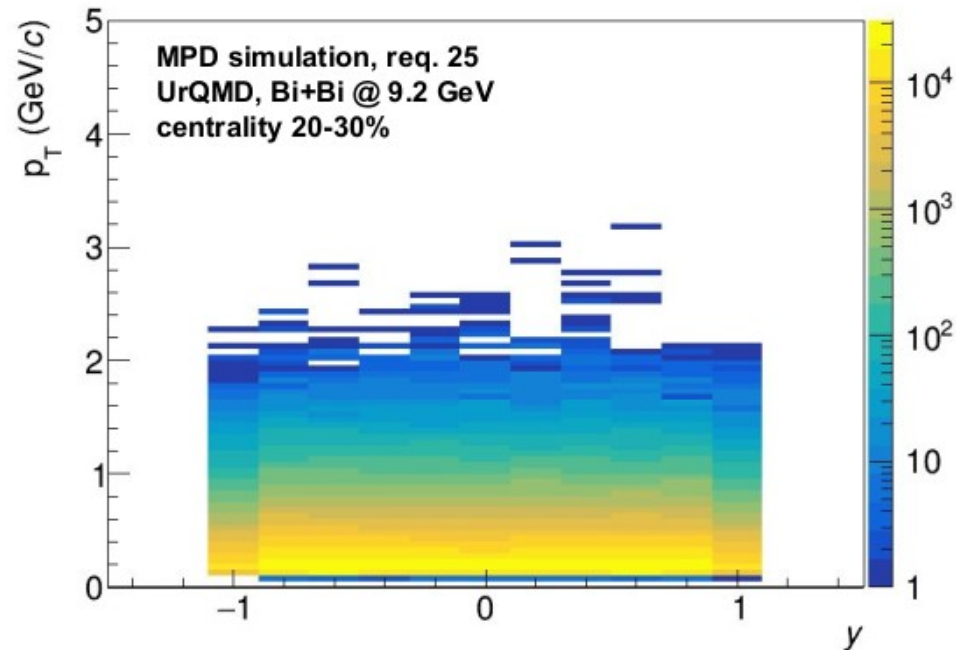
- Отбор кластеров в Ecal:
 - $E_{\text{core}} > 50 \text{ MeV}$
 - минимум 2 ячейки
 - расстояние до ближайшего трека $> 1 \text{ см}$
 - максимальное время пролета фотона до калориметра
- Отбор треков для реконструкции конверсионных фотонов:
 - > 10 хитов в TPC
 - $|\eta| > 1$
 - $p_T > 0.05 \text{ GeV}/c$
 - значение dE/dx в пределах 5σ 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

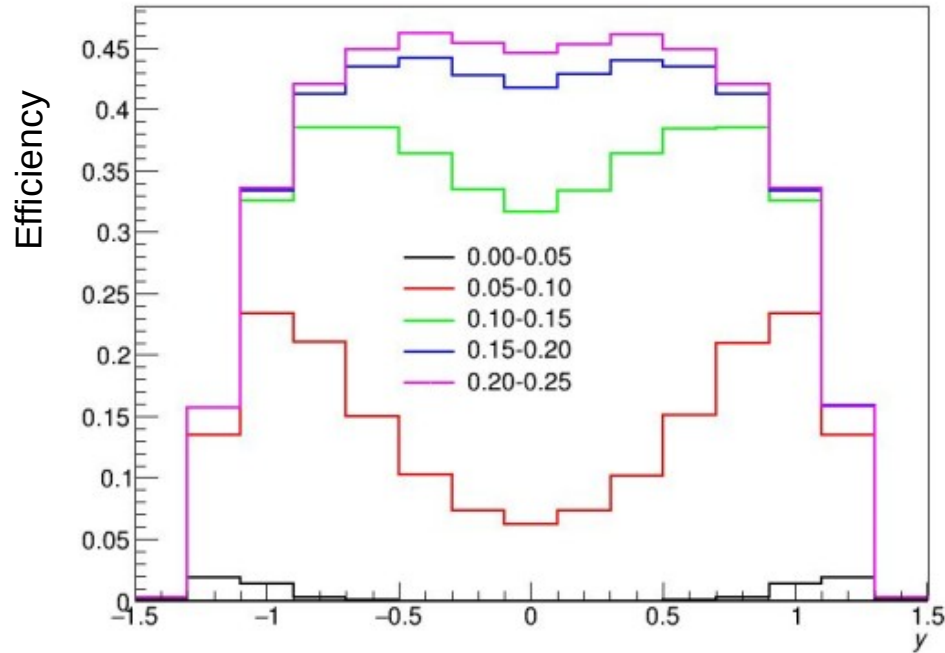


* рожденных не далее 1 см от первичной вершины столкновения

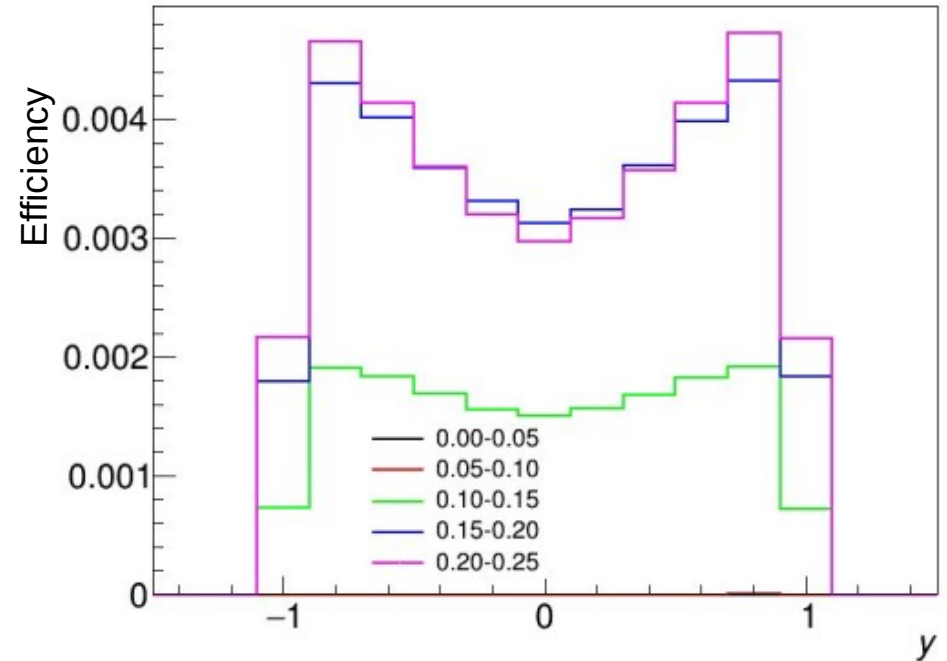
**в модели UrQMD бóльшая часть фотонов происходит из распадов π^0

Эффективность регистрации первичных фотонов

Калориметрический метод

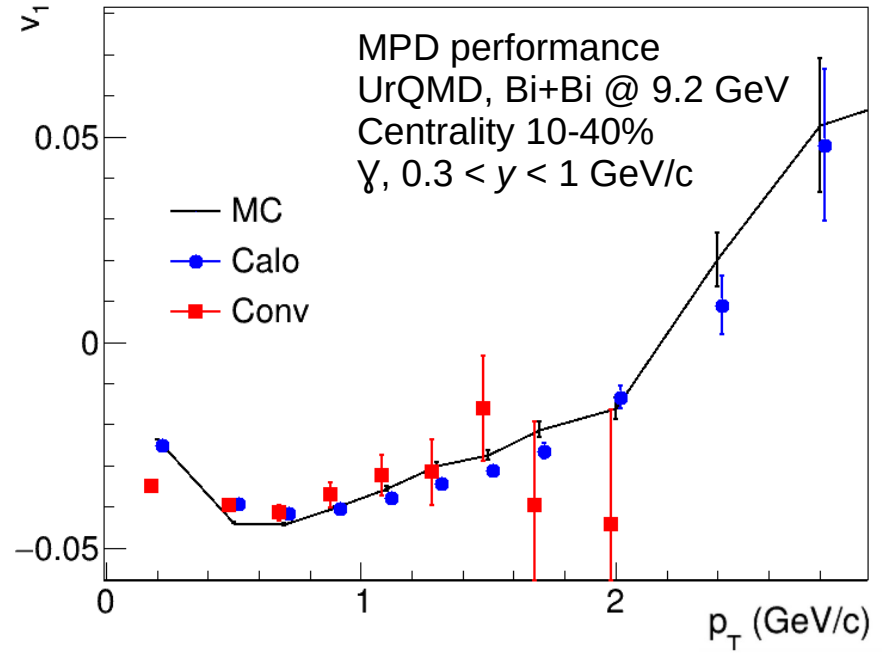
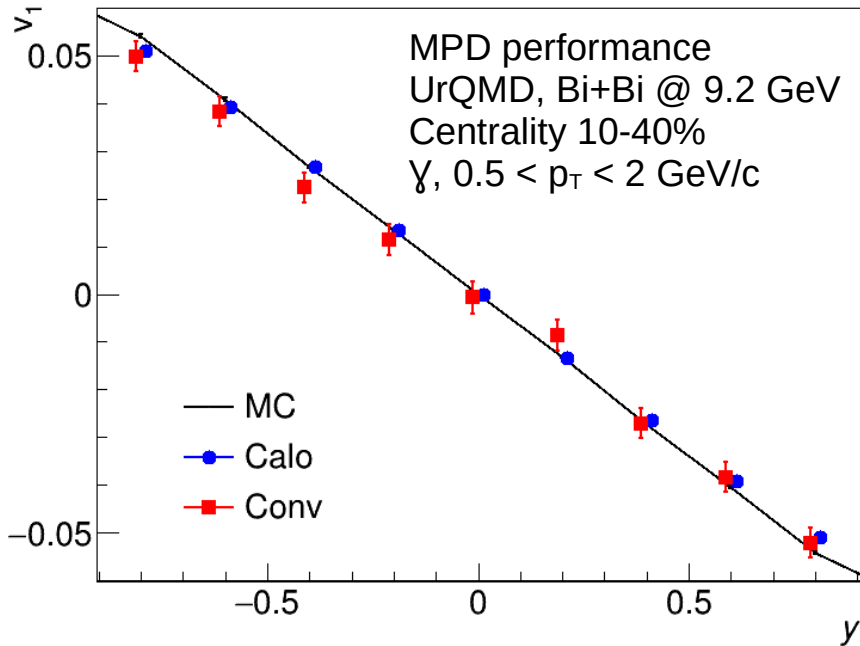


Конверсионный метод



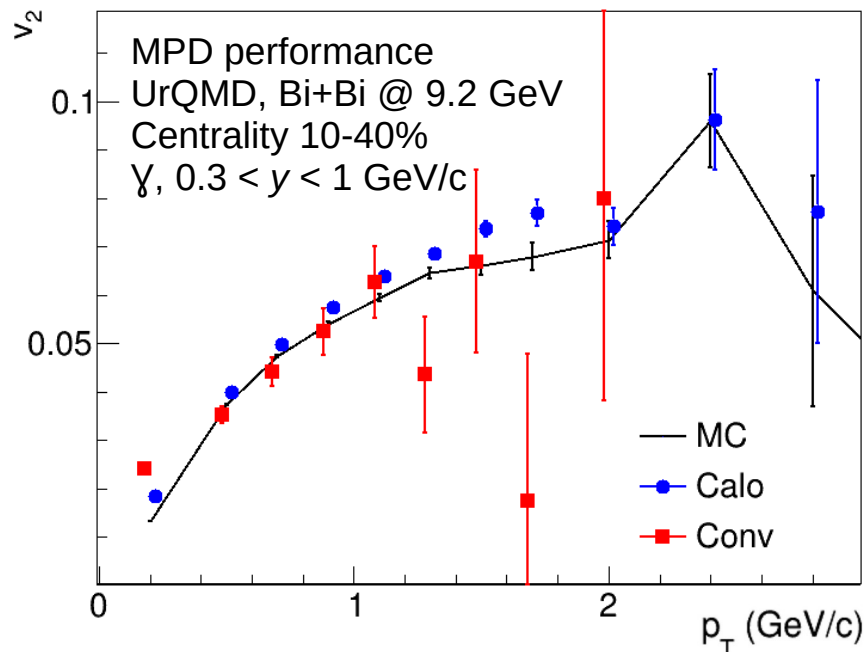
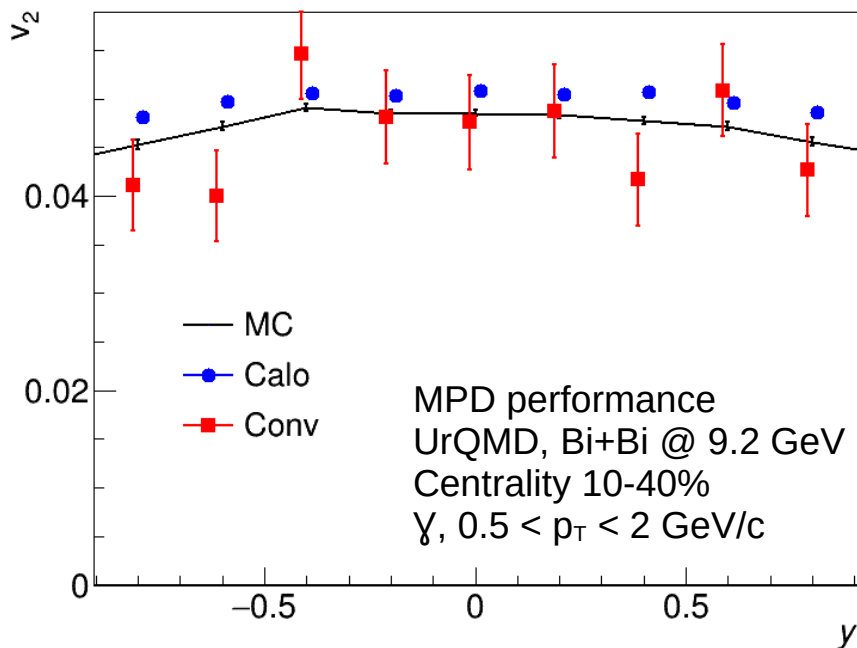
- Эффективность регистрации в ECal резко падает в области центральных быстрот и низких p_T . Требуется оптимизация отбора по энергии кластеров?
- Низкая эффективность конверсионного метода в целом.
- Поправка на эффективность регистрации путем взвешивания при корреляции частиц с плоскостью симметрии

Направленный поток инклюзивных фотонов



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

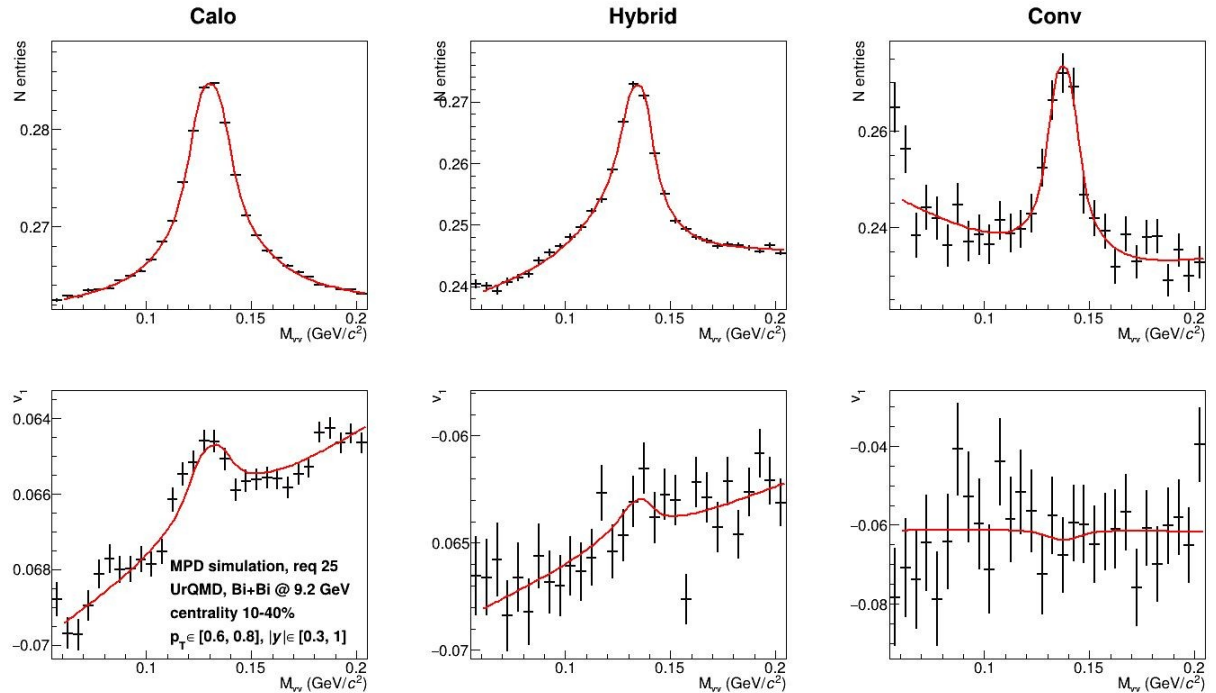
Эллиптический поток инклюзивных фотонов



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

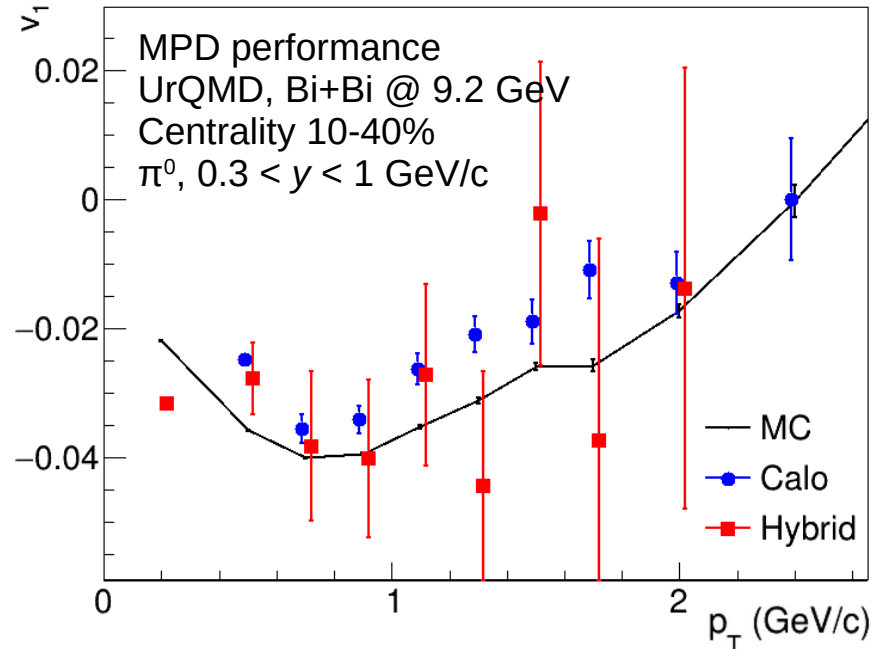
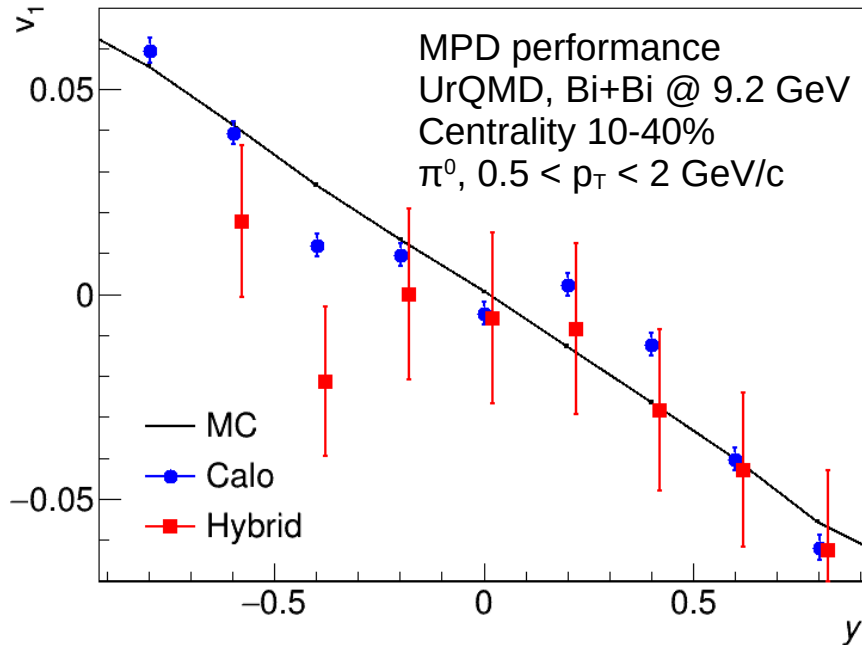
Вычисление потоков нейтральных пионов

- 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



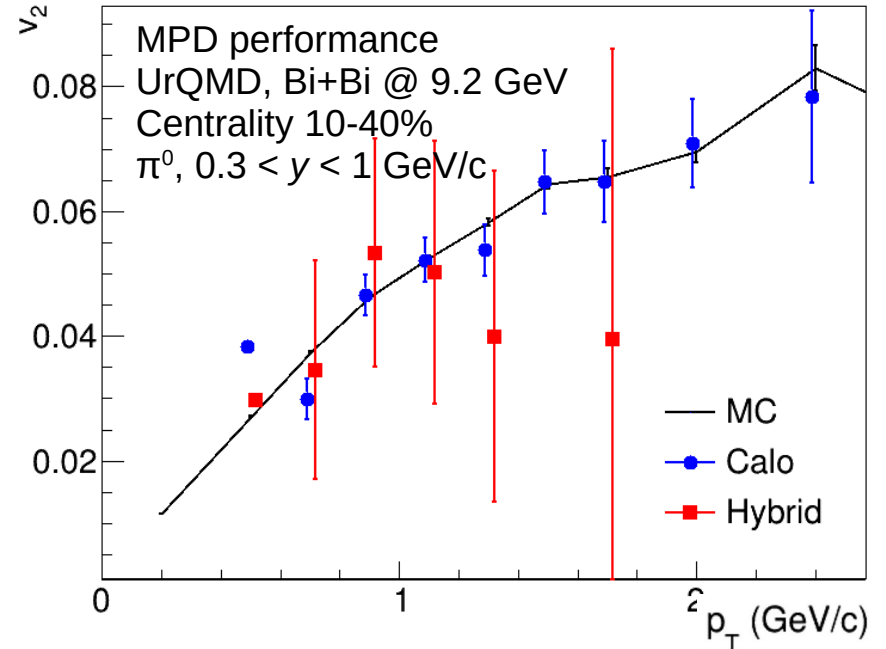
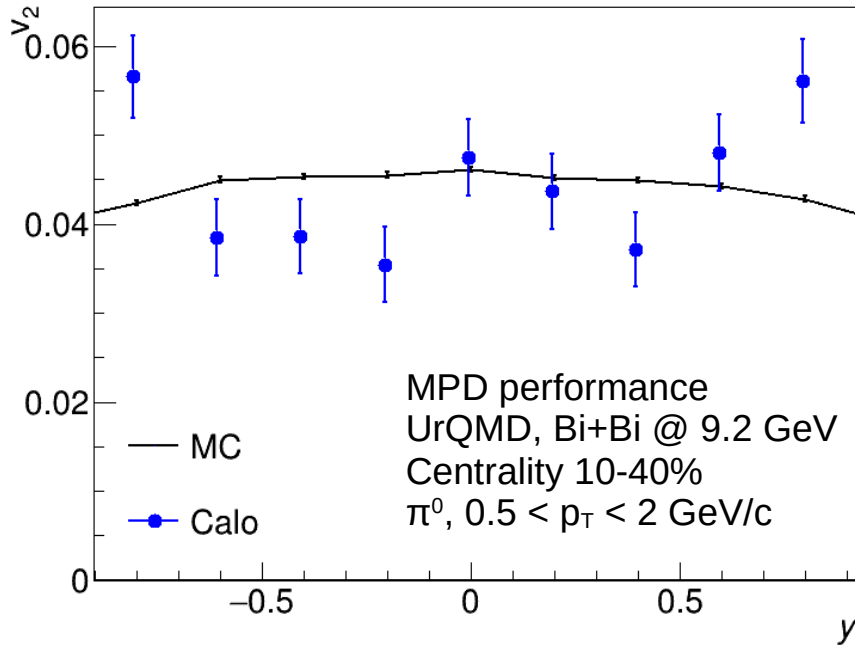
$$v_{all}(M_{inv}) = \frac{n_{sig}(M_{inv})v_{sig} + n_{bg}(M_{inv})(v_{bg}^{const} + v_{bg}^{lin} * M_{inv})}{n_{sig}(M_{inv}) + n_{bg}(M_{inv})}$$

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.