

Исследование объемных свойств среды в столкновениях тяжелых ионов

Выполнил: студент 409 группы Кварцхава Г.П.

Научный руководитель: Апарин А.А.

Москва, 2026

Задачи и цели исследования

Идентификация

Разработка и программная реализация гибридного алгоритма идентификации адронов (p_T , K , p) с использованием детекторов TPC и TOF.

Динамика среды

Извлечение спектров поперечного импульса и изучение коллективных эффектов: радиального потока и барионного торможения.

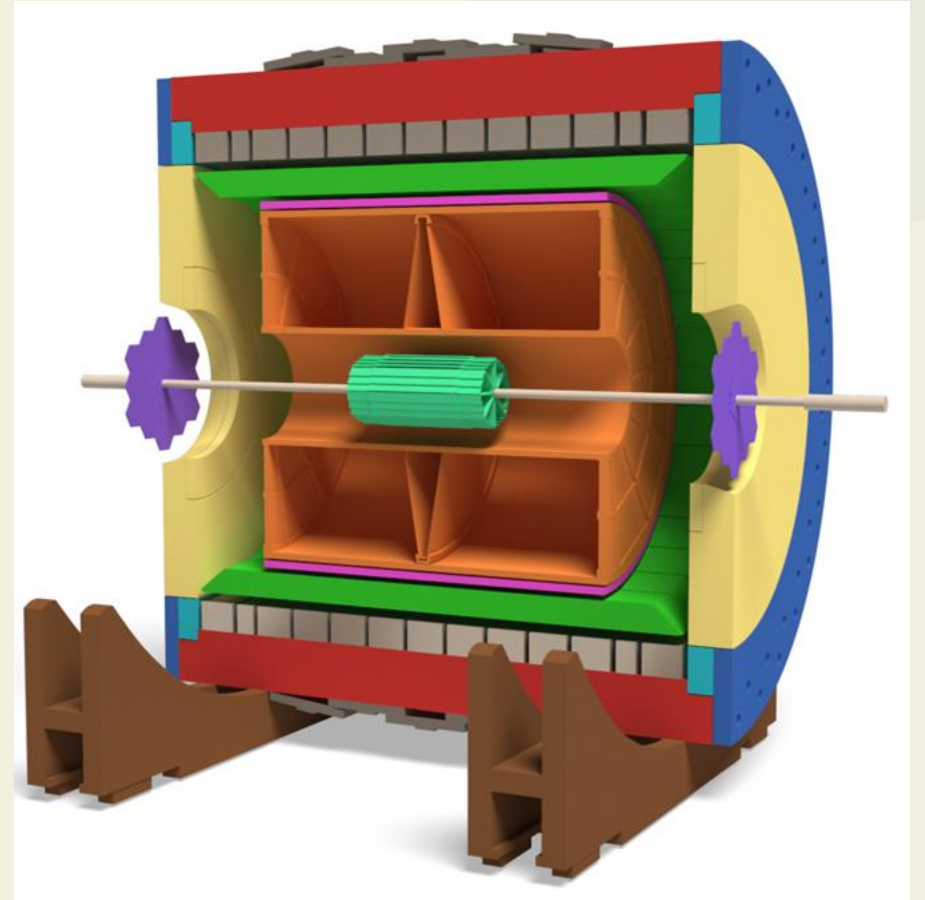
Freeze-out

Извлечение инвариантных выходов адронов для определения параметров термодинамического состояния системы.

Экспериментальная установка STAR

В работе анализируются экспериментальные данные, полученные на коллайдере тяжелых ионов RHIC с помощью детекторного комплекса STAR. Основные используемые системы:

- **TPC (Время-проекционная камера):** Обеспечивает восстановление траекторий (треков) заряженных частиц и измерение их удельных ионизационных потерь энергии.
- **TOF (Времяпролетный детектор):** Измеряет время, за которое частица долетает от точки столкновения до детектора, с пикосекундной точностью.
- **Магнитное поле установки:** Искривляет траектории движения частиц, что позволяет определять их полный импульс и знак электрического заряда.

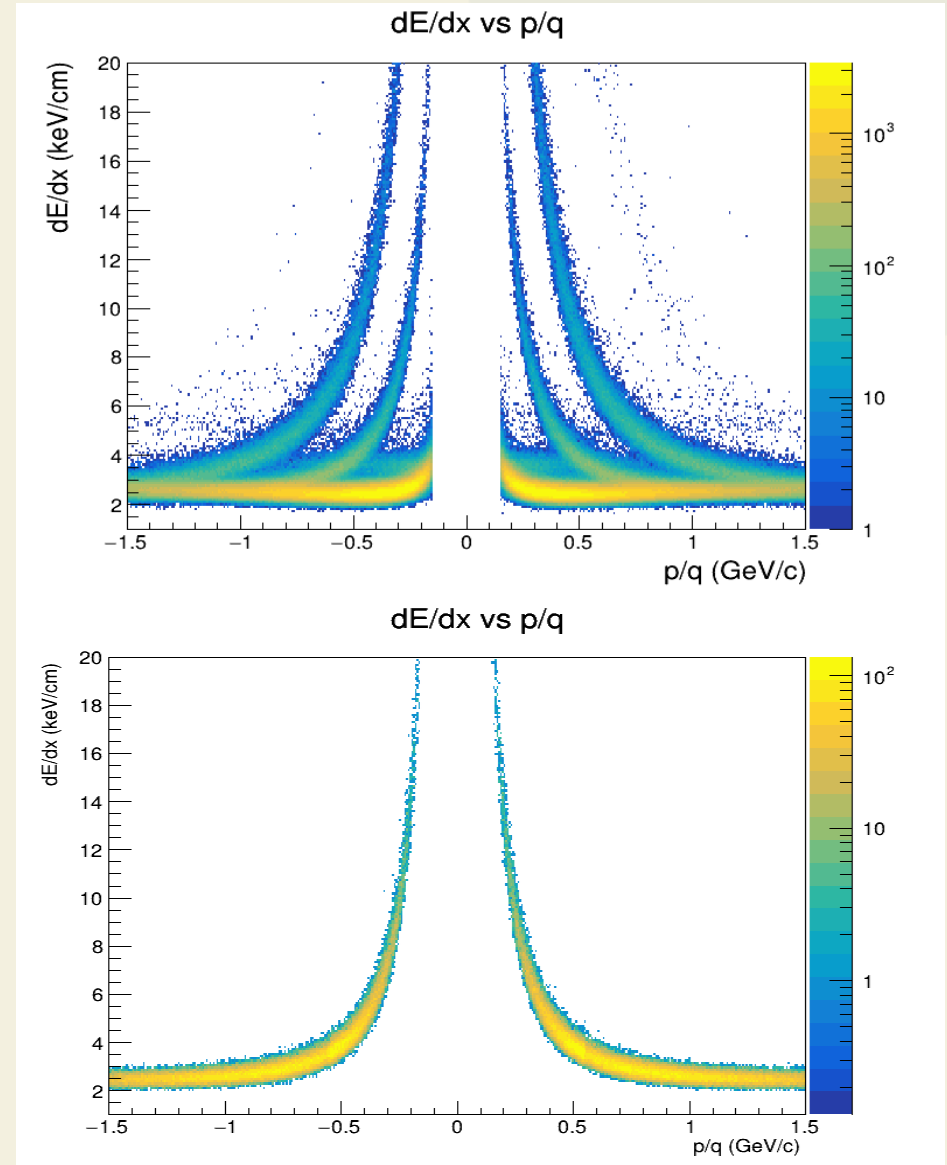


Идентификация: Метод ионизационных потерь

Первичный отбор адронов строится на анализе удельных потерь энергии частиц в газе камеры ТРС. Зависимость описывается формулой Бете–Блоха:

$$dE/dx \propto (z / \beta)^2$$

Где dE/dx — потери энергии, z — заряд частицы, а β — ее скорость. Частицы с одинаковым импульсом, но разной массой, движутся с разной скоростью, благодаря чему их линии разделяются в области низких импульсов.



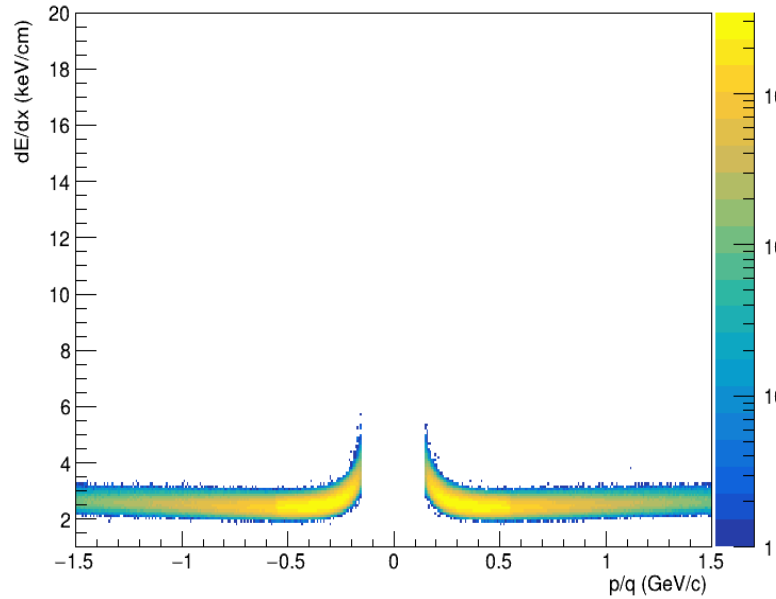
Идентификация: Метод ионизационных потерь

Пионы

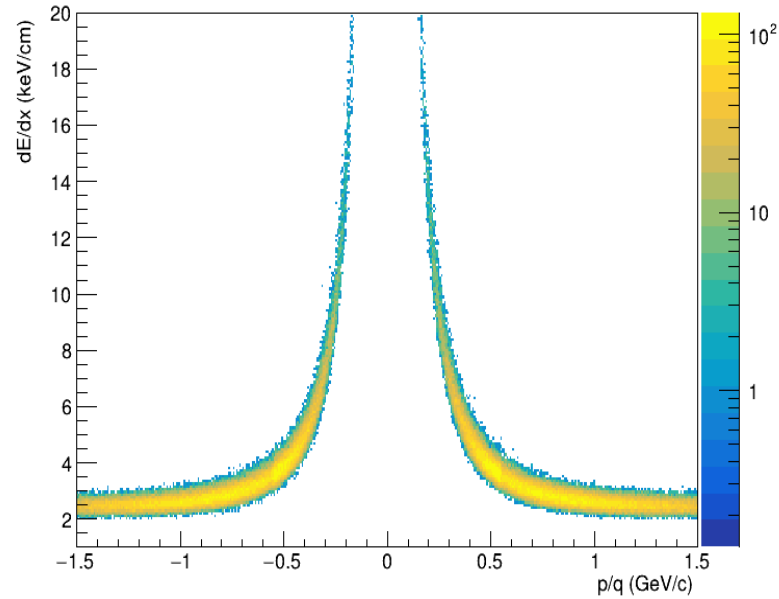
Каоны

Протоны

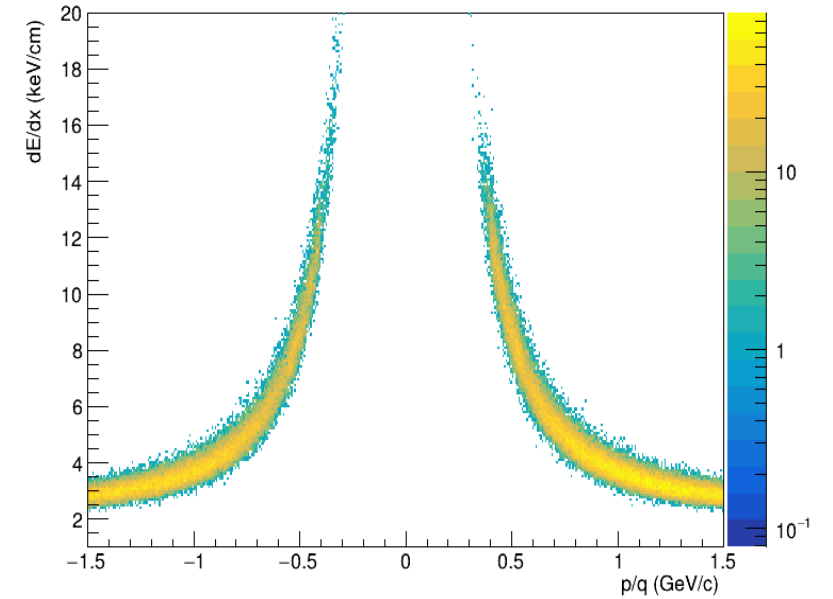
dE/dx vs p/q



dE/dx vs p/q



dE/dx vs p/q



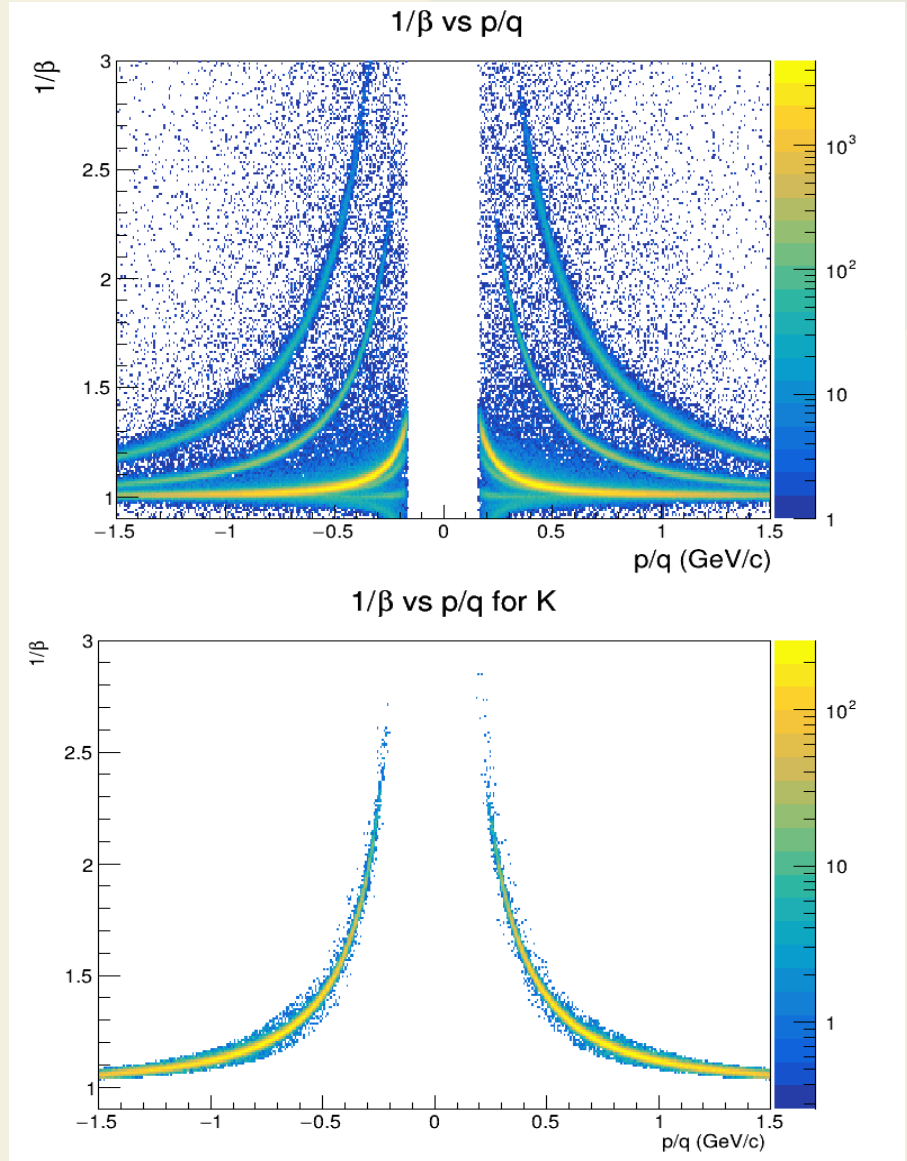
Идентификация: Метод времени пролета

При средних и высоких импульсах линии ионизационных потерь начинают сливаться. Для разделения частиц привлекаются данные детектора TOF, позволяющие вычислить квадрат массы:

$$m^2 = p^2 \cdot (1 / \beta^2 - 1)$$

Где m — масса, p — полный импульс из TPC, β — скорость из TOF.

На двумерном распределении массы от импульса формируются четкие полосы для пионов, каонов и протонов.



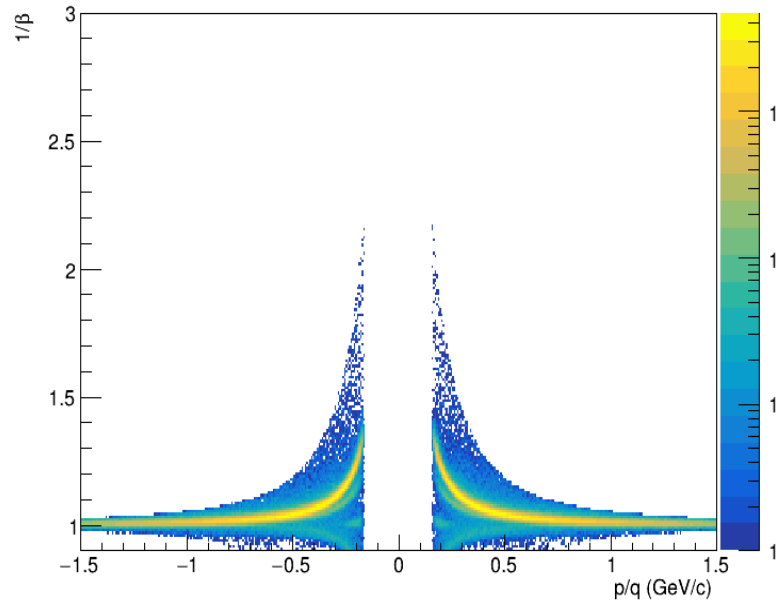
Идентификация: Метод времени пролета

Пионы

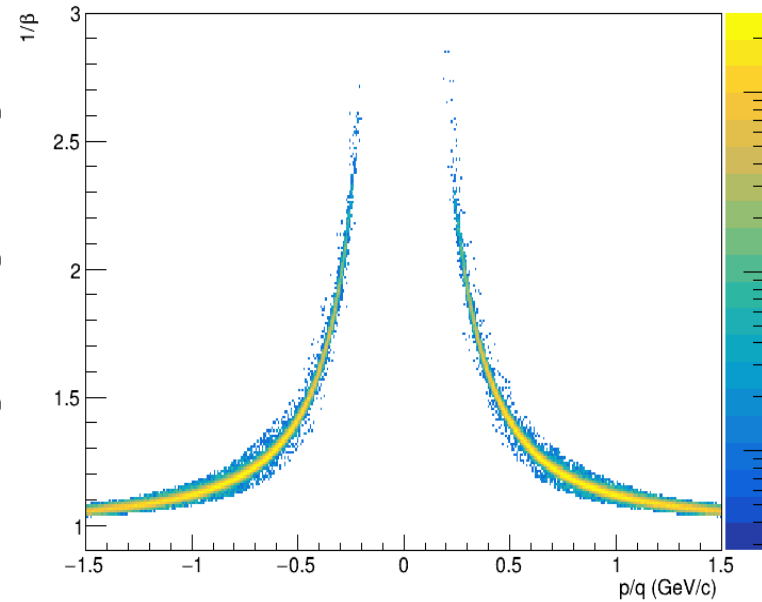
Каоны

Протоны

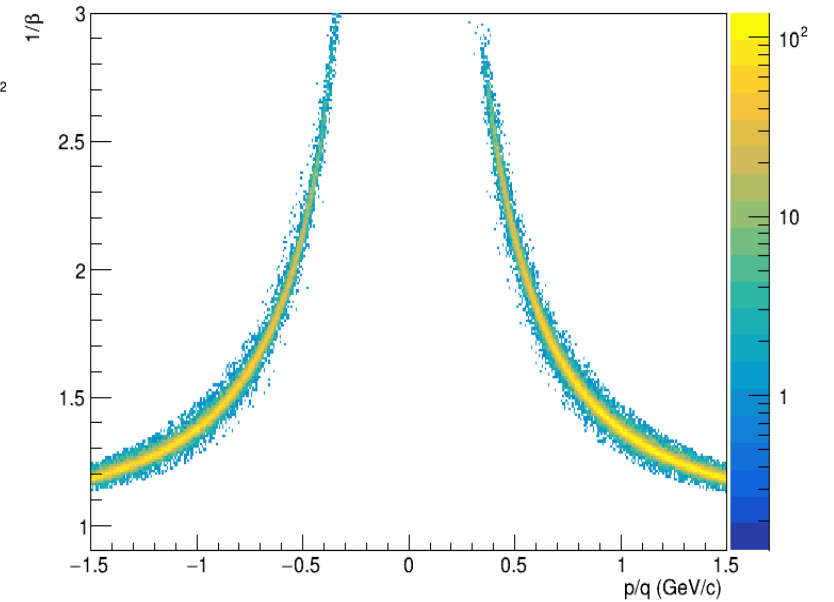
$1/\beta$ vs p/q for π



$1/\beta$ vs p/q for K



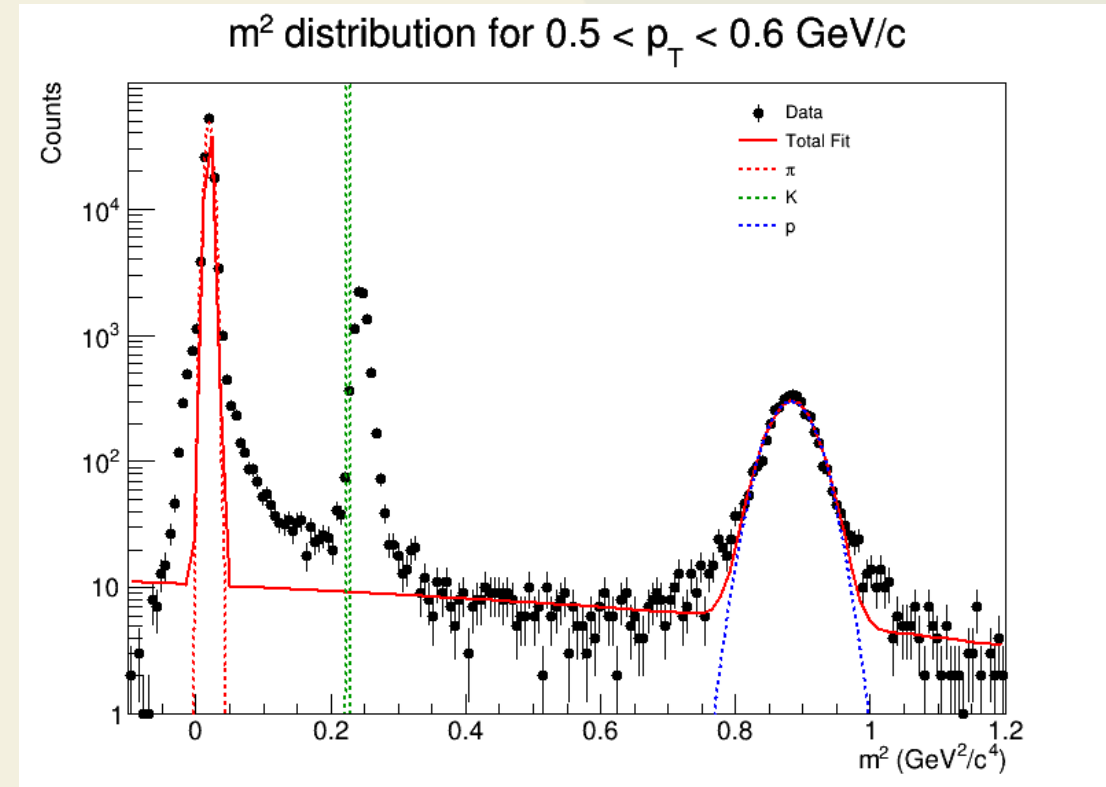
$1/\beta$ vs p/q for p



Извлечение сырых выходов частиц

Точный подсчет количества частиц каждого типа:

- Двумерное распределение квадрата массы режется на узкие интервалы по поперечному импульсу.
- Полученные одномерные гистограммы аппроксимируются (фитируются) суммой трех функций Гаусса.
- Фит позволяет математически разделить вклады частиц в зонах перекрытия их распределений. Интеграл (площадь) под пиком равен числу частиц.



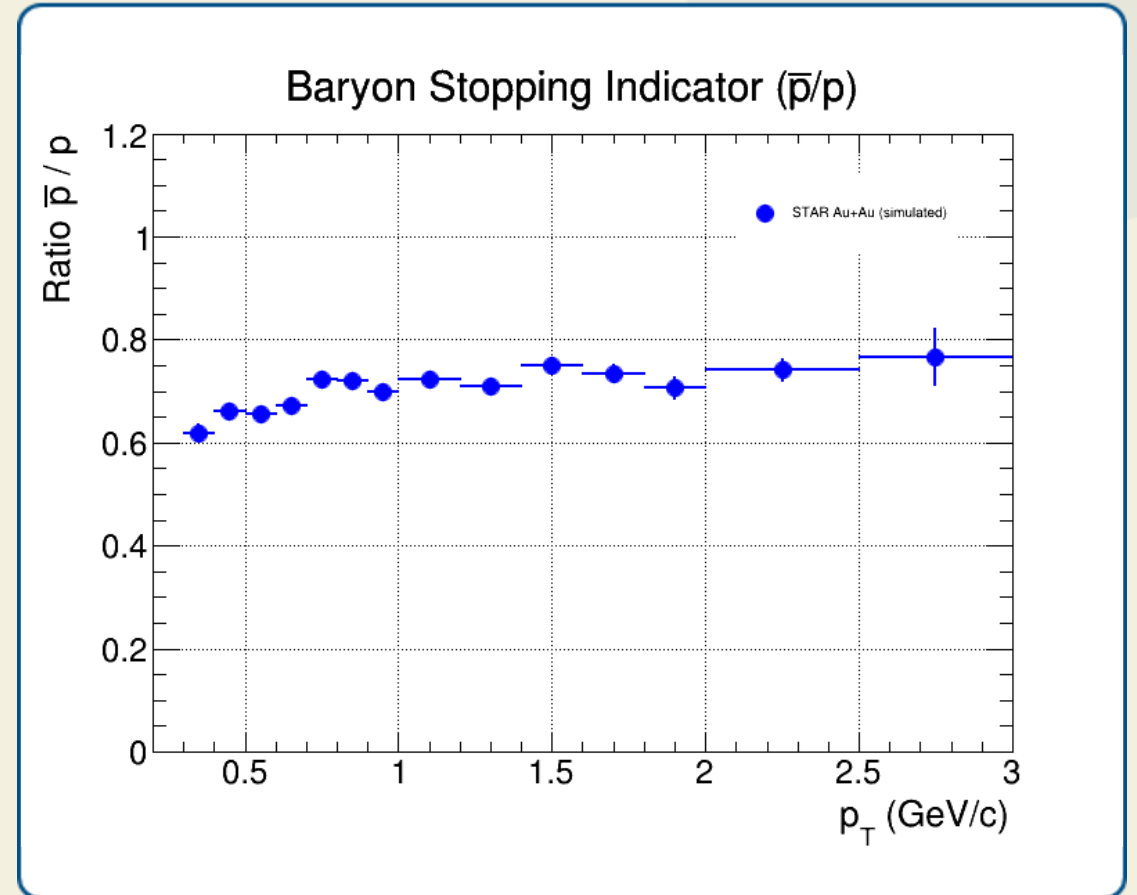
Результаты: Отношение антипротонов к протонам

Индикатор барионной плотности

Отношение свидетельствует о наличии барионного торможения ядер.

В рамках статистических моделей это отношение напрямую связано с химпотенциалом:

$$\frac{\bar{p}}{p} \propto e^{-2\mu_B / T_{ch}}$$



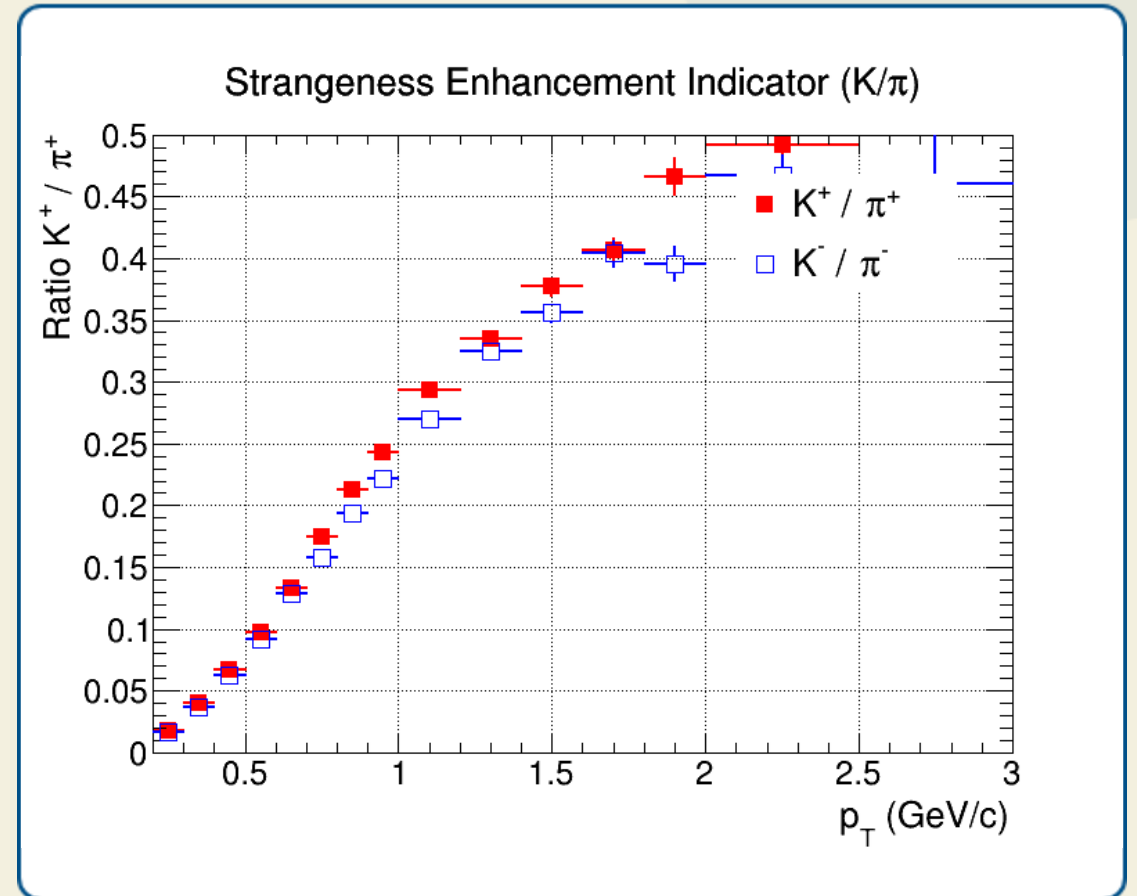
Результаты: Отношение K/π

Коллективный поток

Рост отношения частиц с увеличением поперечного импульса— следствие радиального расширения.

Тяжелые каоны получают больший "толчок" от потока, чем легкие пионы, что меняет наклон спектров.

Интегральное значение K/π определяет температуру химического вымораживания T_{ch} .



Основные выводы работы

Методика отбора

Успешно настроен и программно реализован совместный алгоритм отборов детектора TPC и времяпролетной системы TOF для надежной идентификации адронов.

Поведение спектров

Полученные экспериментальные отношения выходов частиц качественно подтверждают эффекты барионного торможения и поперечного коллективного расширения среды.

Вычисление тд величин

Сформированный массив данных и спектров готов для применения к ним статистических термодинамических моделей с целью извлечения параметров вымораживания.

Спасибо за внимание!

Кварцхава Г.П. | 409 группа

Научный руководитель: Апарин А.А.