



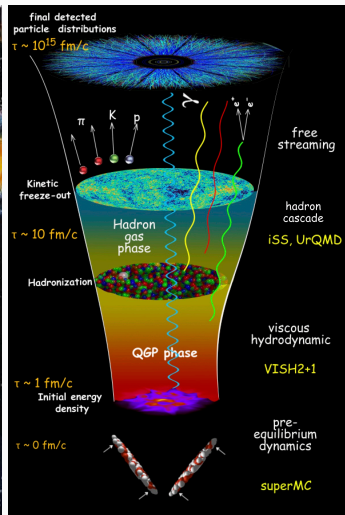
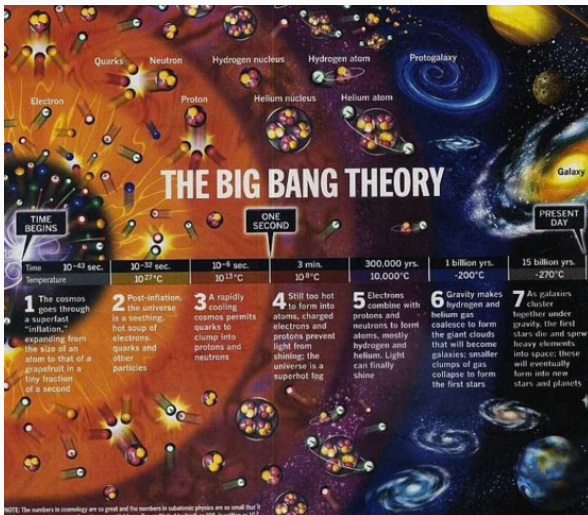
ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

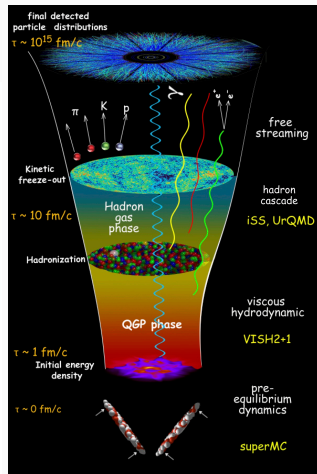
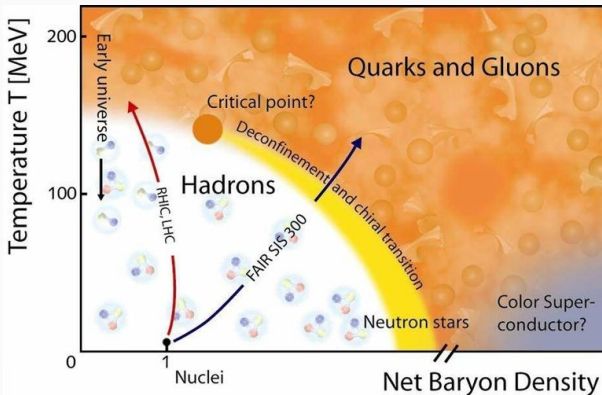


Заряженные адроны в $p+Al$, ${}^3\text{He}+Au$, $Cu+Au$
при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ и в
столкновениях $U+U$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 193$
ГэВ

Ларионова Дарья, Бердников Я.А., Котов Д.О.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
«СПбПУ»





- $p+p$

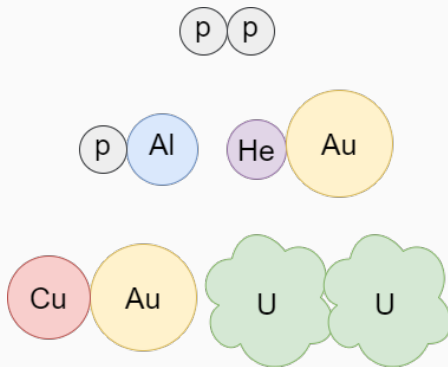
Референсная система
столкновений

- **Легкие системы
столкновений**

$p+Al$, $d+Au$, ${}^3\text{He}+Au$
Эффекты холодной
ядерной материи

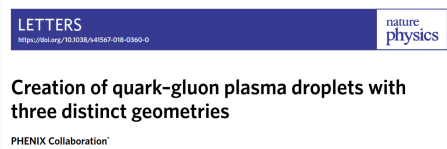
- **Тяжелые системы
столкновений**

$\text{Cu}+Au$, $U+U$
Эффекты холодной
ядерной материи
Эффекты КГП

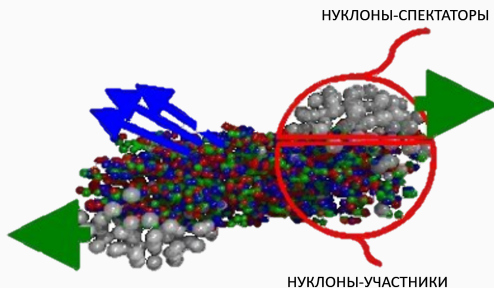




- $p+p$
Референсная система
столкновений
- **Легкие системы
столкновений**
 $p+Al, d+Au, ^3He+Au$
Эффекты холодной
ядерной материи
Эффекты КГП?
- **Тяжелые системы
столкновений**
 $Cu+Au, U+U$
Эффекты холодной
ядерной материи
Эффекты КГП



Поиск КГП в легких системах



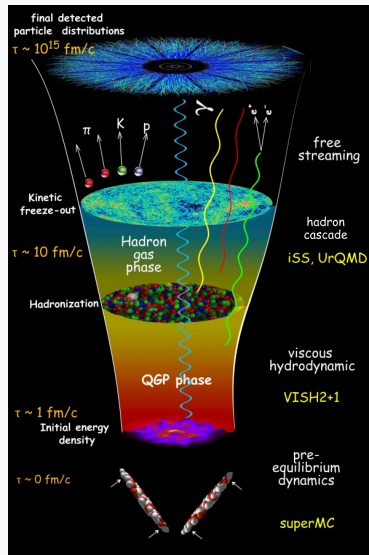
- Центральность – мера перекрытия ядер.
- $\langle N_{part} \rangle$ – количество нуклонов участников, рассчитывается с помощью модели Глаубера

0 % - наиболее центральные соударения, максимальная степень перекрытия ядер

100% - наиболее периферические соударения, минимальная степень перекрытия ядер

Признаки образования КГП:

- Увеличенный выход странности
- Анизотропные потоки
- Гашение струй
- Увеличенный выход барионов
- ...

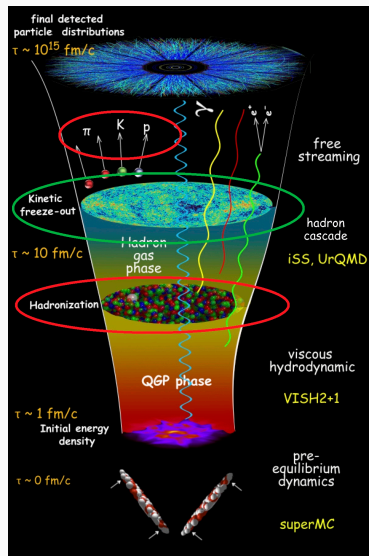


Признаки образования КГП:

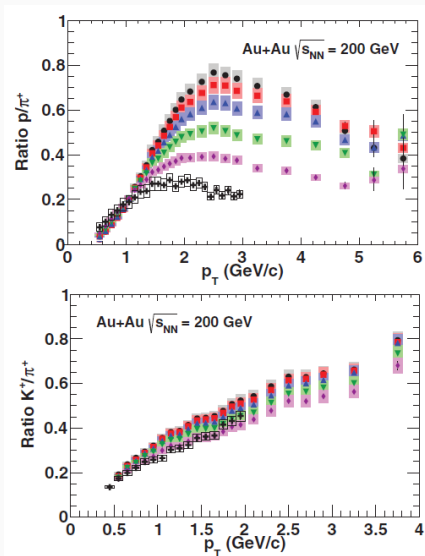
- Увеличенный выход странности
- Анизотропные потоки
- Гашение струй
- **Увеличенный выход барионов**
- ...

Заряженные адроны (π^\pm , K^\pm , p , \bar{p}) позволяют изучать:

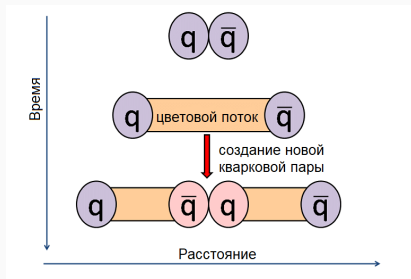
1. Процессы адронизации
2. Стадия «вымораживания»



- Увеличение значений p/π при $p_T > 1.5$ ГэВ/с
Значения p/π достигают значения 0.8
(в ~ 2.5 раза больше, чем в $p + p$)
- p/π – зависимость от центральности
- K/π – слабо зависят от центральности

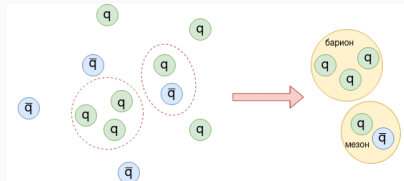


Фрагментация



- Степенное убывание инвариантных p_T спектров;
- $p_T \gtrsim 3 \text{ ГэВ/с}$

Рекомбинация



- Экспоненциальное убывание инвариантных p_T спектров;
- $p_T \lesssim 3 \text{ ГэВ/с}$
- КГП

Согласно модели рекомбинации:

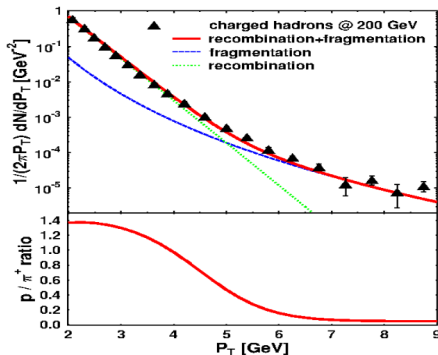
- импульс бариона:

$$p_B = p_{q1} + p_{q2} + p_{q3}$$

- импульс мезона:

$$p_M = p_{q1} + p_{q2}$$

- экспоненциальное убывание спектров



→ инвариантный p_T спектр барионов смещается относительно инвариантного p_T спектра мезонов в сторону больших p_T

→ при $1.5 \lesssim p_T \lesssim 5$ ГэВ/с наблюдается увеличение значений p/π

Признак образования КГП



Исследование процессов рождения заряженных адронов позволяет изучать свойства КГП

Систематическое изучение процессов рождения заряженных адронов в легких и тяжелых системах столкновений позволяют изучать минимальные условия образования КГП

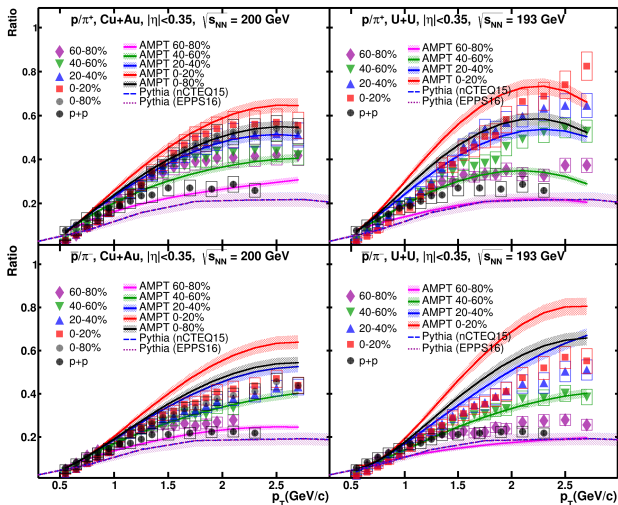
[arXiv:2312.09827](https://arxiv.org/abs/2312.09827)

Сравнение измеренных значений p/π с расчетами моделей PYTHIA и AMPT в Cu+Au и U+U столкновениях

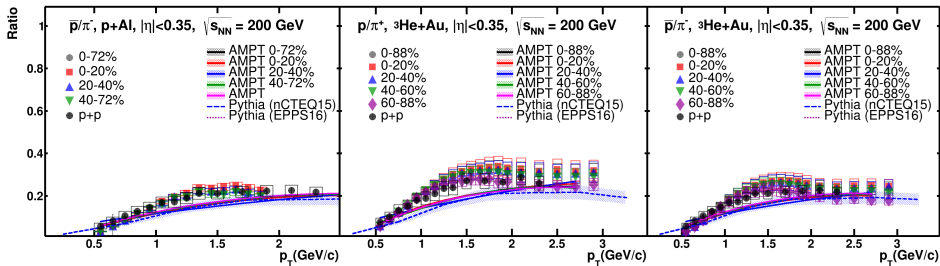


AMPT –
модель рекомбинации

PYTHIA –
модель фрагментации

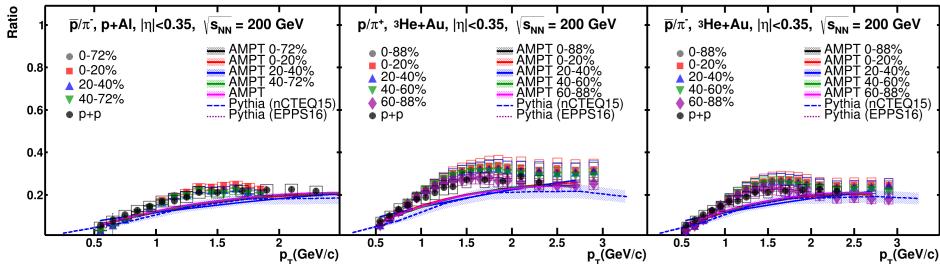


Сравнение измеренных значений p/π с расчетами моделей PYTHIA и AMPT в $p+Al$ и ^3He+Au столкновениях

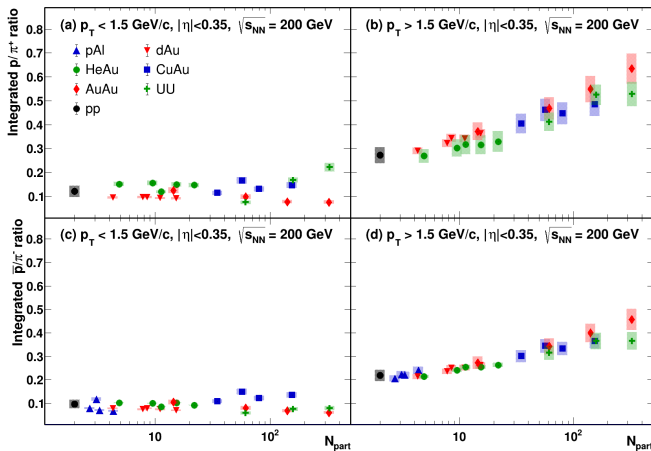


- КГП не образуется
- Объем КГП недостаточен для наблюдаемого увеличения выхода барионов.

Сравнение измеренных значений ρ/π с расчетами моделей PYTHIA и AMPT в $p+Al$ и ${}^3He+Au$ столкновениях

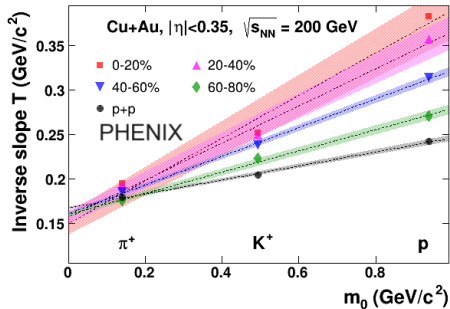
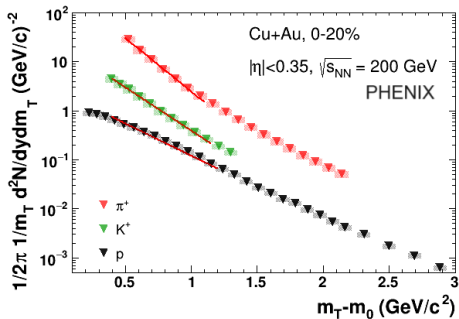


- КГП не образуется? PHENIX 2022г. – $\psi(2S)$ в $p+Al$, $p+Au$
- Объем КГП недостаточен для наблюдаемого увеличения выхода барионов



Можно интерпретировать как усиление роли процессов рекомбинации с увеличением количества нуклонов-участников $\langle N_{part} \rangle$.

Модель радиально расширяющейся термализованной системы

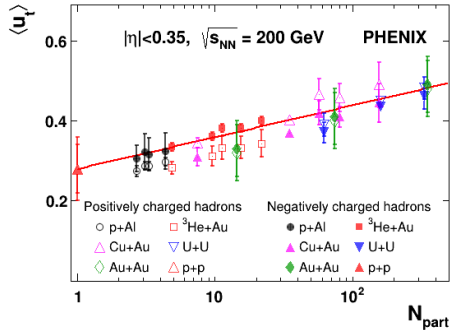
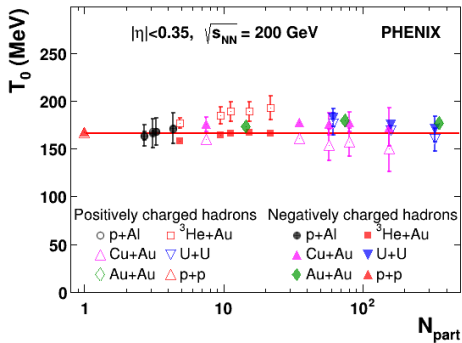


$$\frac{1}{2\pi m_T} \frac{d^2N}{dm_T dy} = \frac{A}{2\pi T(T + m_0)} \exp\left(-\frac{m_T - m_0}{T}\right)$$

$$\langle E_{\text{kinetic}} \rangle = \langle E_{\text{thermal}} \rangle + \langle E_{\text{collective}} \rangle$$

$$T = T_0 + m_h \langle u_t \rangle^2$$

Температура вымораживания T_0 и средние скорости коллективного потока $\langle u_t \rangle$



$$T_0 = 166.1 \pm 2.2 \text{ МэВ}$$

$$\langle u_t \rangle (\langle N_{part} \rangle) = p_1 \cdot \log(p_2 \cdot \langle N_{part} \rangle),$$

$$\text{где } p_1 = 0.0345 \pm 0.0003, p_2 = 3196 \pm 342$$



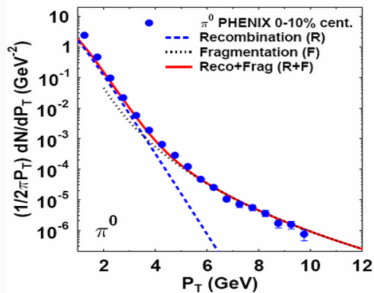
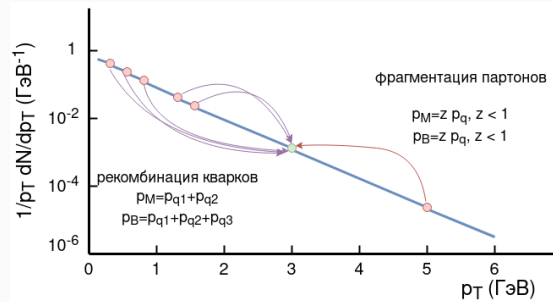
1. Получены температуры вымораживания T_0 и средней скорости коллективного потока частиц $\langle u_t \rangle$ как функций от количества нуклонов-участников $\langle u_t \rangle$.
2. В центральных столкновениях ${}^3\text{He}+\text{Au}$, $\text{Cu}+\text{Au}$, $\text{U}+\text{U}$ наблюдается эффект увеличенного выхода протонов и антипротонов, что может быть объяснено доминированием вклада процессов рекомбинации в образовании π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} в диапазоне $p_T < 4$ ГэВ/с.
3. В $p+\text{Al}$ столкновениях, а также в периферических столкновениях ${}^3\text{He}+\text{Au}$, $\text{Cu}+\text{Au}$, $\text{U}+\text{U}$ эффект увеличенного выхода протонов и антипротонов не наблюдается, что может быть объяснено доминированием вклада процессов фрагментации в образовании π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} в диапазоне 2 ГэВ/с $< p_T < 4$ ГэВ/с.

Спасибо за внимание!



ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого





- Рекомбинация – $p_T \lesssim 3$ ГэВ/с
- Фрагментация – $p_T \gtrsim 3$ ГэВ/с



- Инвариантные p_T спектры

$$\frac{1}{2\pi p_T} \frac{d^2 N}{dp_T dy} = \frac{N_h}{2\pi p_T N_{evt} \epsilon_{rec} \Delta p_T \Delta y}$$

- Факторы ядерной модификации

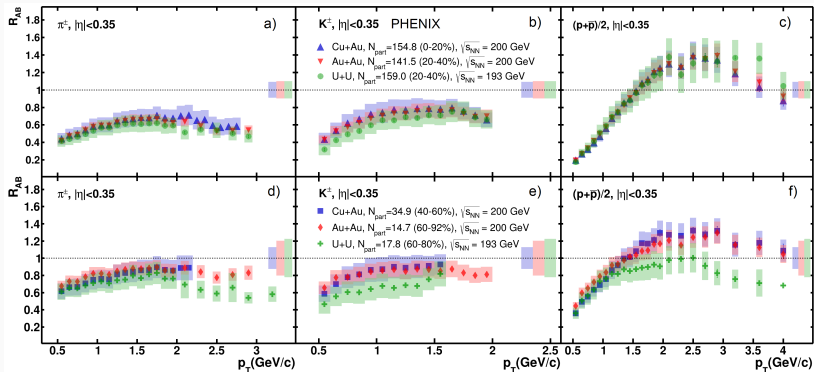
$$R_{AB}(p_T) = \frac{1}{N_{coll}} \frac{d^2 N_{AB}(p_T)/dy dp_T}{d^2 N_{pp}(p_T)/dy dp_T}$$

- Величины отношений адронов

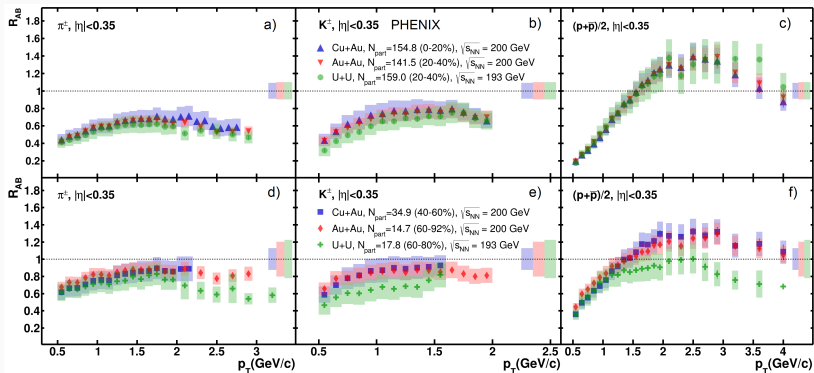
$$\pi^-/\pi^+, K^-/K^+, \bar{p}/p, K^+/\pi^+, K^-/\pi^-, p/\pi^+, \bar{p}/\pi^-$$

Вычисляются как отношения инвариантных p_T спектров соответствующих частиц

Сравнение R_{AB} заряженных адронов в Cu+Au, Au+Au и U+U при одинаковых значениях $\langle N_{part} \rangle$

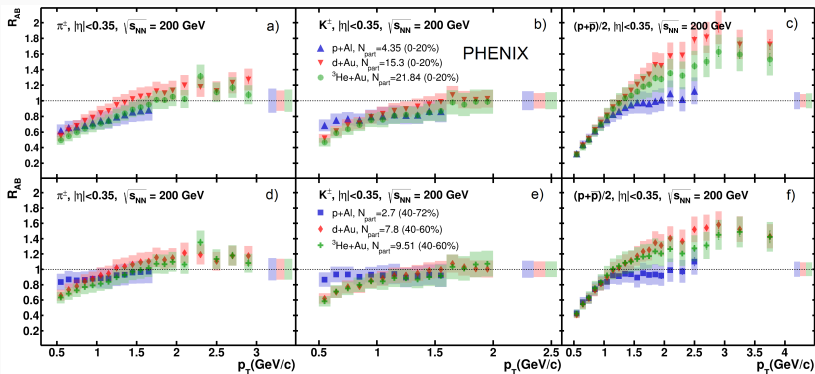


Сравнение R_{AB} заряженных адронов в Cu+Au, Au+Au и U+U при одинаковых значениях $\langle N_{part} \rangle$



Значения R_{AB} определяются областью перекрытия сталкивающихся ядер и количеством нуклонов-участников и не зависят от геометрии столкновения.

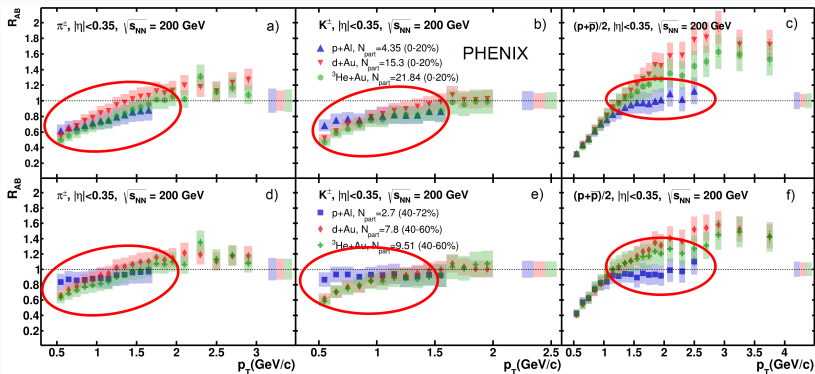
Сравнение R_{AB} заряженных адронов в $p+Al$, $d+Au$ и ${}^3\text{He}+Au$ при одинаковых значениях $\langle N_{part} \rangle$



$p+Al$, π^\pm , K^\pm – наклон $R_{AB}(p_T)$

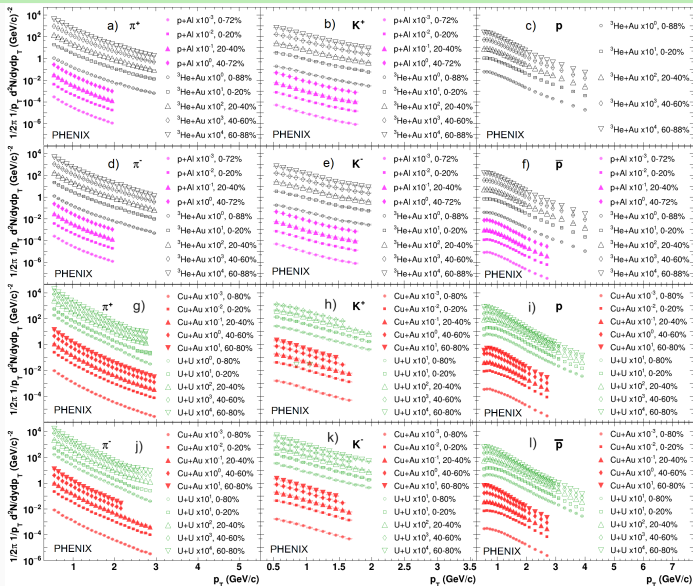
$p+Al$, протоны – $R_{AB} \approx 1$

Сравнение R_{AB} заряженных адронов в $p+Al$, $d+Au$ и ${}^3\text{He}+Au$ при одинаковых значениях $\langle N_{part} \rangle$

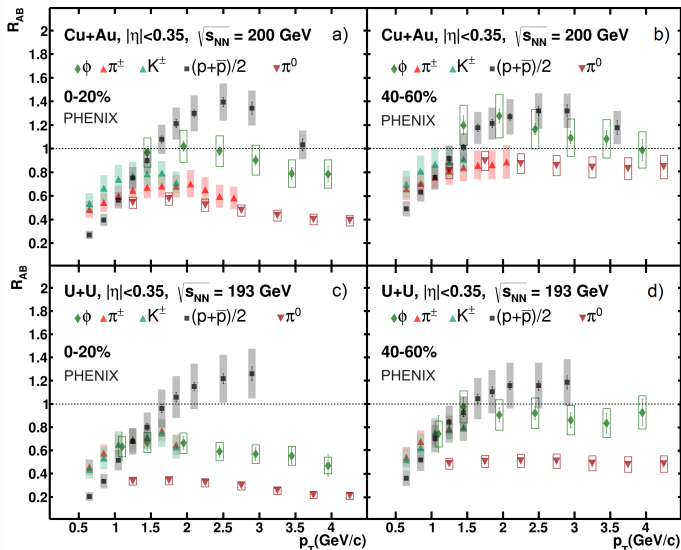


$p+Al$, π^\pm , K^\pm – наклон $R_{AB}(p_T)$

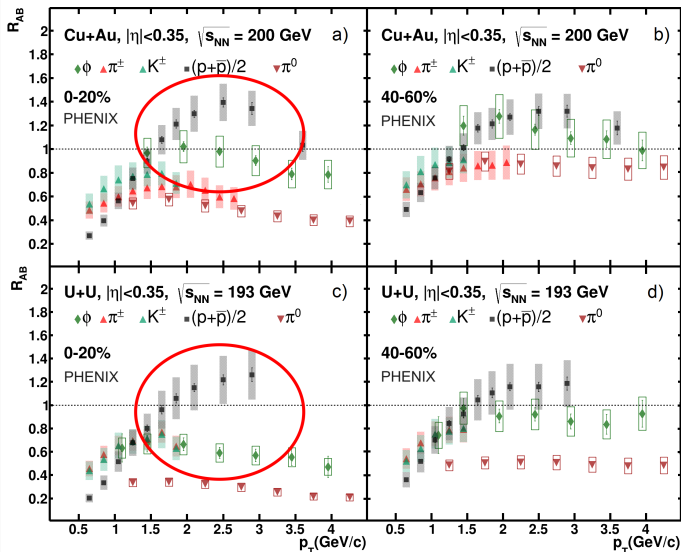
$p+Al$, протоны – $R_{AB} \approx 1$



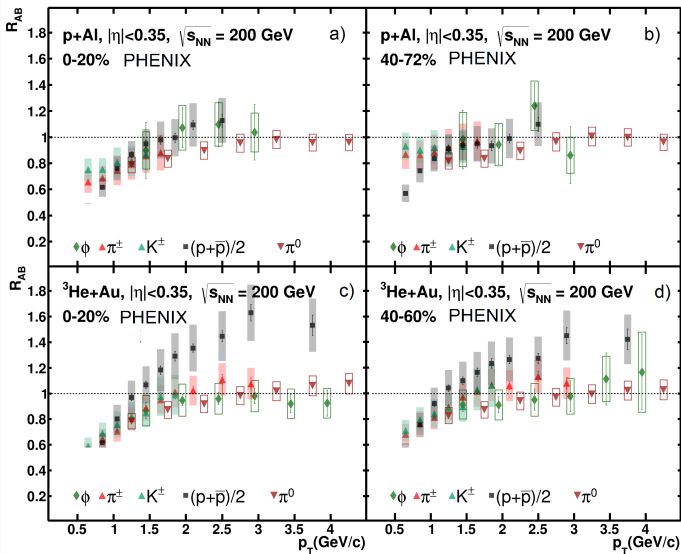
Факторы ядерной модификации R_{AB} легких адронов в Cu+Au и U+U столкновениях



Факторы ядерной модификации R_{AB} легких адронов в Cu+Au и U+U столкновениях



Факторы ядерной модификации R_{AB} легких адронов в $p+Al$ и ${}^3He+Au$ столкновениях



Факторы ядерной модификации R_{AB} легких адронов в $p+Al$ и ${}^3He+Au$ столкновениях

