

Вортисити и поляризация Λ -гиперонов в AuAu 7.7GeV столкновениях в модели PHSD

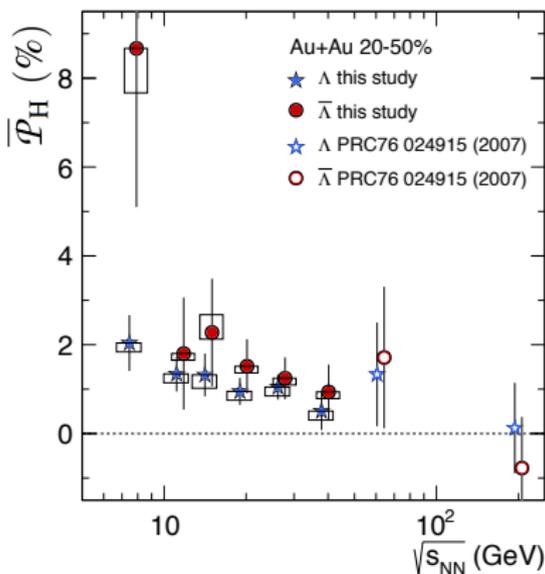
Е.Коломийцев, В.Д.Тонеев, В.Воронюк

27 октября 2017



STAR BES

“Global Λ hyperon polarization in nuclear collisions: evidence for the most vortical fluid” arXiv:1701.06657



Измеряют по угловому распределению продуктов распада $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$

$$4\pi \frac{dN}{d\Omega^*} = 1 + \alpha_\Lambda \vec{P}^* \vec{n}_p^*$$

в системе покоя распадной частицы.

Поляризация вдоль вектора углового момента системы/поперек плоскости реакции.

Введение

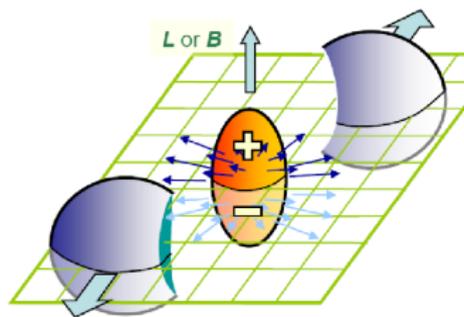
В столкновениях тяжелых ионов рождается среда со свойствами сильно-взаимодействующей жидкости.

Периферические столкновения

- ▶ Большой угловой момент $\sim (10^3 - 10^5)\hbar$
- ▶ "Жидкая капля" с вязкостью



- Вращение среды
- Неустойчивость Кельвина–Гельмгольца



Неустойчивость Кельвина–Гельмгольца

Возникает при наличии сдвига между слоями сплошной среды.
Причудливые облака. Волны на поверхности воды.



Магнитомеханические явления

Эффект Эйнштейна — де Гааза

Тело (ферромагнетик) при намагничивании вдоль некоторой оси приобретает относительно неё вращательный импульс.



Эффект Барнетта

Намагничивание тел путем их вращения при отсутствии внешнего магнитного поля.

Возможные наблюдаемые эффекты вращения ядерной среды

- ✠ Локальное нарушение четности (Chiral Vortical Effect) Phys.Rev.C 82, 054910 (2010)
 - ✠ Поляризация частиц Phys.Rev.Lett. 94, 102301 (2005)
-
- ◇ Мы будем рассматривать AuAu столкновения при 7.7 GeV $b=6\text{fm}$

Определения

Кинематическое определение вортисити в классической гидродинамике

$$\omega = \frac{1}{2} \operatorname{rot} \mathbf{v}$$

Определения

Кинематическое определение вортисити в классической гидродинамике

$$\omega = \frac{1}{2} \text{rot } \mathbf{v}$$

Релятивистское определение вортисити

$$\omega_{\mu\nu} = \frac{1}{2} (\partial_\nu u_\mu - \partial_\mu u_\nu)$$

где u_ν локальный четырех-вектор скорости среды.

$$u_\nu(x) = \gamma(1, \mathbf{v}(x)), \quad \gamma(x) = \frac{1}{\sqrt{1 - \mathbf{v}^2(x)}}$$

Вортисити отвечает за возможное локальное нарушение четности в CVE подобно магнитному полю в СМЕ.

Определения

Релятивистское определение температурной вортисити

$$\varpi_{\mu\nu} = \frac{1}{2}(\partial_\nu\beta_\mu - \partial_\mu\beta_\nu) \quad \beta_\nu = \frac{u_\nu}{T}$$

Вектор локальной поляризации из-за спин-орбитального взаимодействия

F. Becattini et al. Eur. Phys. J. C75, no. 9, 406 (2015)

Спиновый вектор

$$S^\mu(x, p) = -\frac{s(s+1)}{6m}(1 \pm n(x, p))\varepsilon^{\mu\nu\lambda\delta}\varpi_{\nu\lambda}p_\delta$$

s – спин, p_δ – 4е импульс частицы

- Термодинамическое равновесие
- Механизм не конкретизируется

Поляризация Λ

$$P = 2 \frac{\mathbf{S}^* \cdot \mathbf{L}}{|\mathbf{L}|}$$

\mathbf{S}^* – спиновый вектор в системе покоя Λ , \mathbf{L} – вектор углового момента системы.

Parton-Hadron-String-Dynamics model

- **Обобщенные транспортные уравнения вне массовой поверхности основанные на уравнениях Каданова–Бейма .**
- **Динамика квазичастиц вне массовой поверхности:** характеристики квазичастиц модифицируются в среде
- **Модель DQPM:** спектральные функции, массы, ширины, средне-полевые потенциалы для партонов (фит решеточной КХД)
- **Фазовый переход: кроссовер, $\varepsilon_{cr} > 0.5 \text{ ГэВ}/\text{фм}^3$.**
- **Динамическая адронизация**

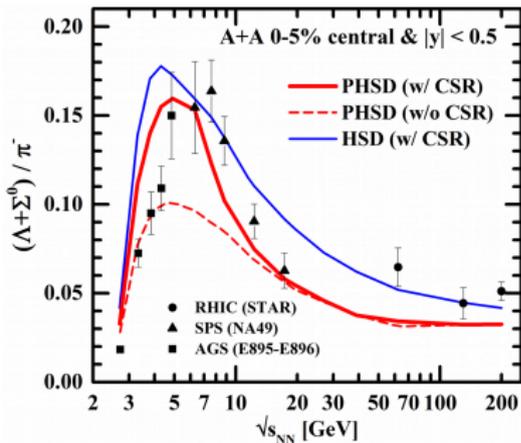
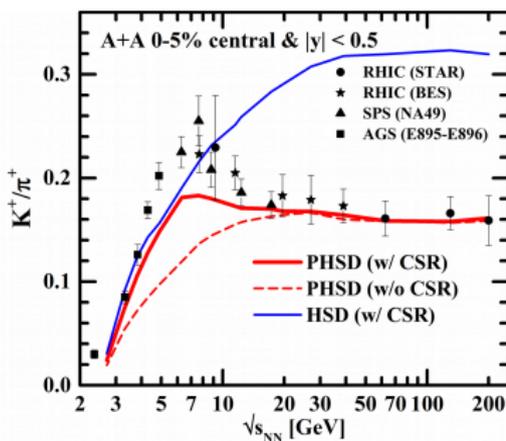
Модель хорошо описывает экспериментальные данные в широкой области энергий.

W.Cassing, E.Bratkovskaya, PRC 78 (2008) 034919; NPA831 (2009) 215; W.Cassing, EPJ ST 168 (2009) 3

Chiral symmetry restoration in the hadronic phase

The strangeness enhancement seen experimentally at FAIR/NICA energies probably involves the approximate restoration of chiral symmetry in the hadronic phase.

W.Cassing, A.Palmese, P.Moreau, E.L.Bratkovskaya – arXiv:1510.04120 [PRC]



Поле скоростей. ЧАСТИЦЫ → СРЕДА

Численно поле скоростей можно определить с помощью некоторой размазывающей функции $\Phi(x, x_i)$, где x координата среды, а x_i координата i й частицы.

Wei-Tian Deng and Xu-Guang Huang, Phys. Rev. C **93**, 064907 (2016)

✦ Скорость потока частиц

$$v^a(x) = \frac{1}{\sum_i \Phi(x, x_i)} \sum_i \frac{p_i^a}{p_i^0} \Phi(x, x_i),$$

✦ Скорость потока энергии

$$v^a(x) = \frac{\sum_i p_i^a \Phi(x, x_i)}{\sum_i [p_i^0 + (p_i^a)^2 / p_i^0] \Phi(x, x_i)},$$

✦ Скорость ячейки

$$v^a(x) = \frac{\sum_i p_i^a \Phi(x, x_i)}{\sum_i p_i^0 \Phi(x, x_i)},$$

ЧАСТИЦЫ → СРЕДА

Поток частиц

$$J^\mu(x) = \left(\sum_i \Phi(x, x_i), \sum_i \frac{p_i}{p_i^0} \Phi(x, x_i) \right)$$

Поле скоростей

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}) = \frac{\mathbf{J}(\mathbf{r})}{J_0(\mathbf{r})} \quad u^\mu(\mathbf{r}) = \frac{J^\mu(\mathbf{r})}{\sqrt{J_\nu(\mathbf{r})J^\nu(\mathbf{r})}}$$

Разный выбор $\Phi(x, x_i)$ может приводить к разному полю.

Метод частица в ячейке (“Particle in Cell” или “Claud in Cell”)

Сеточная плотность

$$J_a = \sum_i J(\mathbf{r}_i) W(\mathbf{r}_i - \mathbf{R}_a),$$

для узла в точке \mathbf{R}_a , где сумма ведется по всем частицам i , W – весовая функция

Аппроксимация

$$J(\mathbf{r}) = \sum_a J_a W(\mathbf{r} - \mathbf{R}_a),$$

где сумма ведется по узлам.

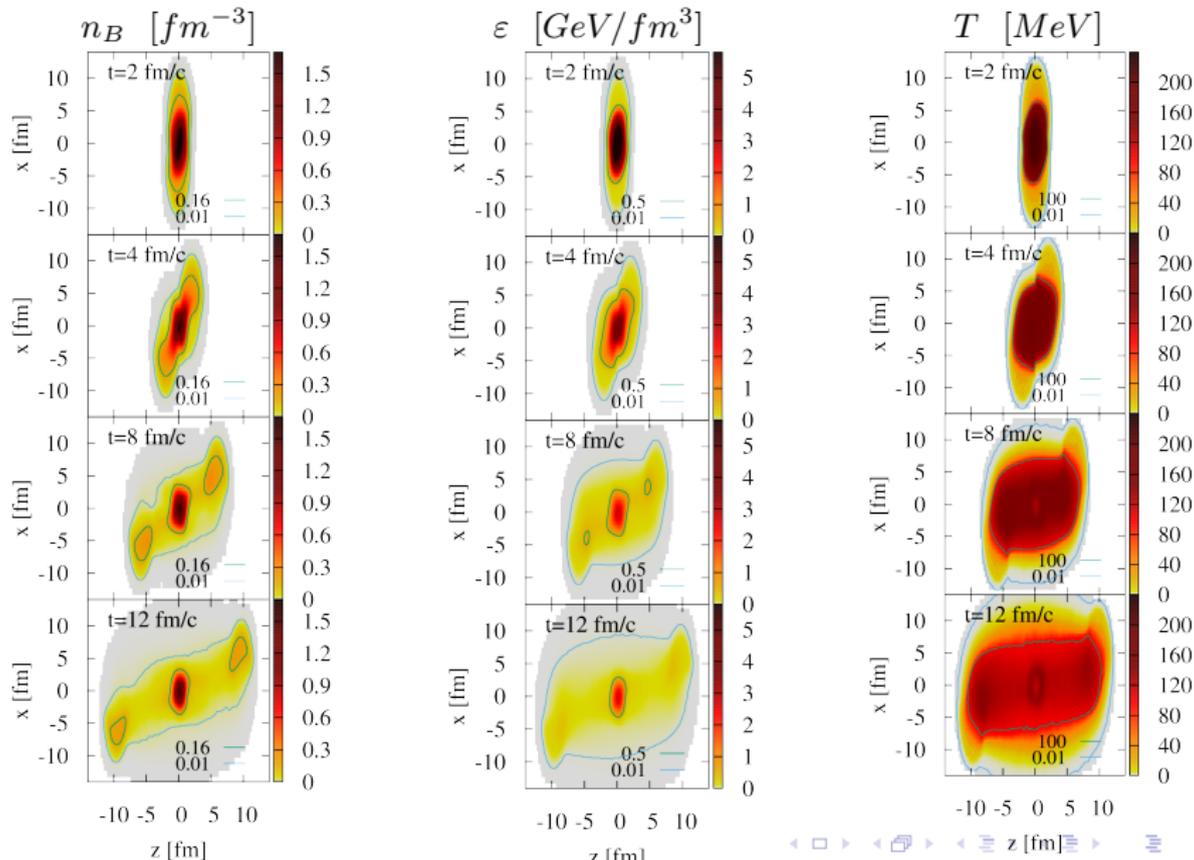
Весовой функция W выбрана квадратичная – квадратичный сплайн. Каждый раз используется $3 \times 3 \times 3$ узла.

Метод частица в ячейке (“Particle in Cell” или “Claud in Cell”)

Свойства метода + следствия квадратичного сплайна

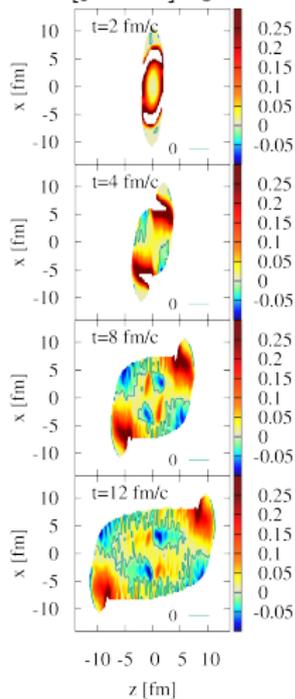
- ✦ Единая весовая функция для перехода на узлы решетки и восстановления значений.
- ✦ Уширение точечных частиц ($r=0.8\text{fm}$).
- ✦ Непрерывное восстановление между узлами.
- ✦ Первая производная непрерывная
- ✦ Вычисление производных не требует разностной схемы (аналитическая производная весовой функции)

EOS: релятивистский идеальный адронный газ (Хворостухин & Тонеев)

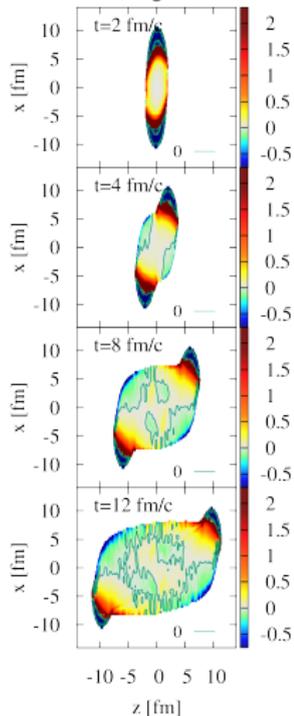


Кинематическая и температурная вортисити

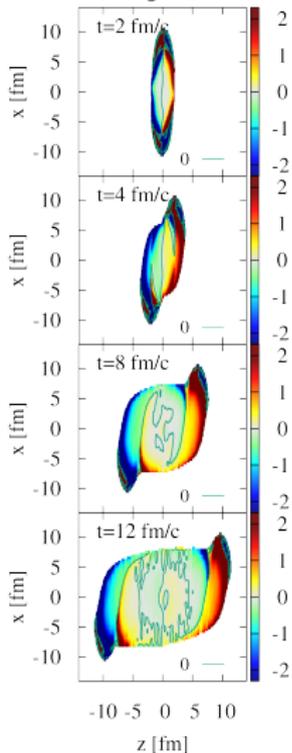
$$\omega_{xz} [fm^{-1}] \quad y = 0$$



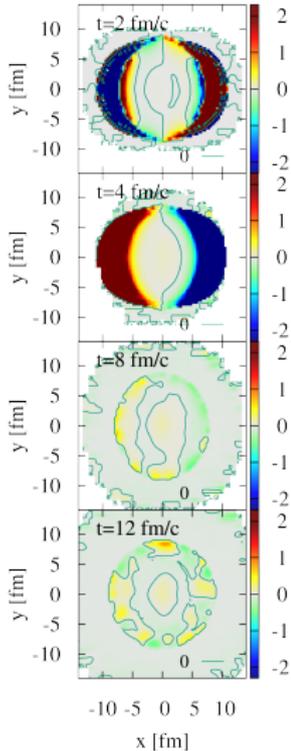
$$\varpi_{xz} \quad y = 0$$



$$\varpi_{tz} \quad y = 0$$

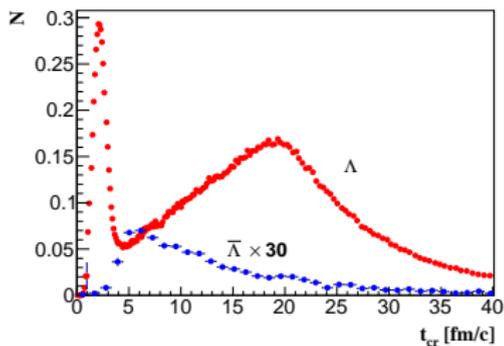
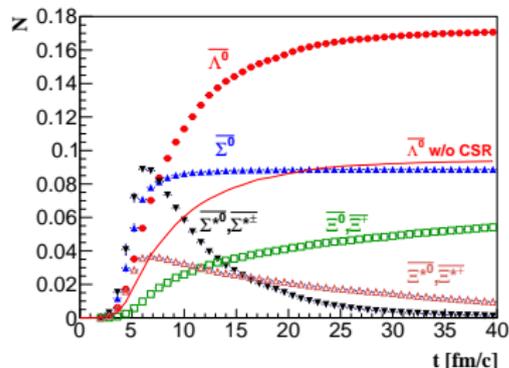
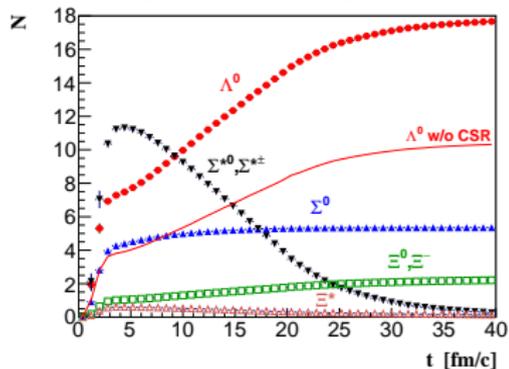


$$\varpi_{tz} \quad z = 0$$



Рождение гиперонов

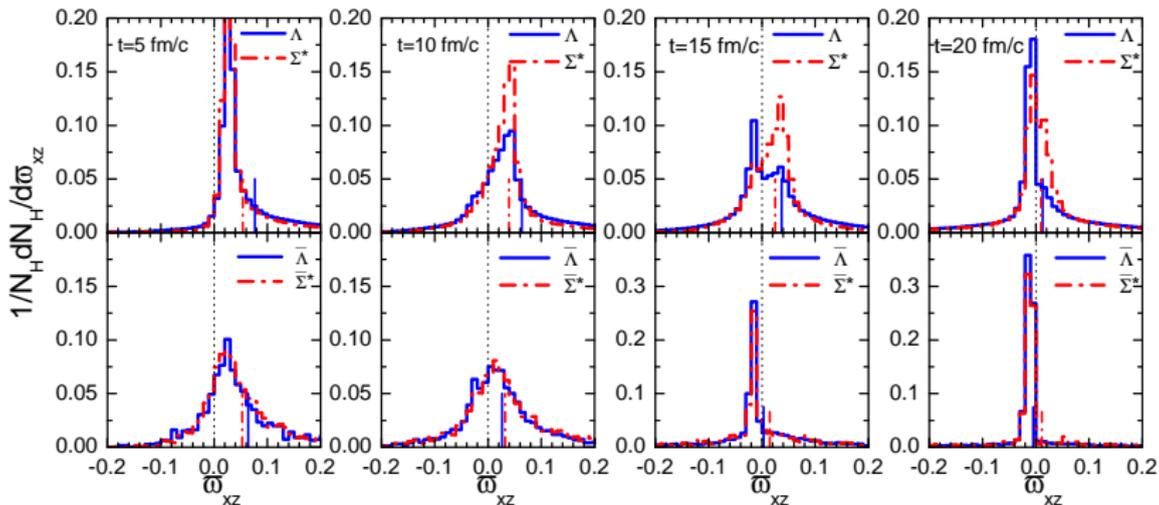
Число странных гиперонов в зависимости от времени эволюции.



Число Λ долетевших до детектора в зависимости от времени рождения.

Поляризация

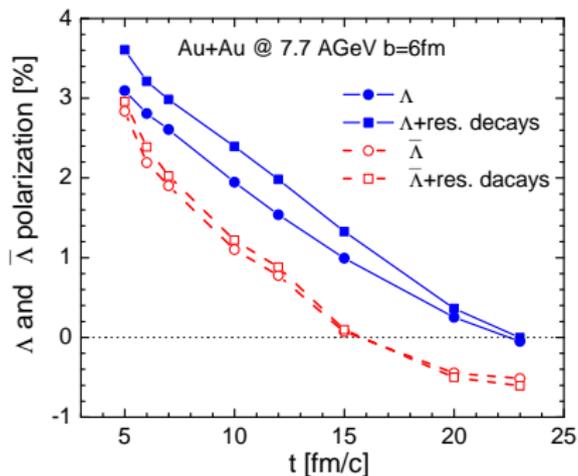
$$S_y \sim \varpi_{xz}$$



Распределение по наиболее существенной компоненте. Остальные компоненты симметричны.

Поляризация

Предварительные результаты: Зависимость поляризации от выбора времени фризаута.



Заключение

- ✦ Вортисити сосредоточено в основном в пограничной области фаербола.
- ✦ Поляризация зависит от выбора времени фризаута.
- ✦ Разница между поляризацией частиц и античастиц маленькая и противоположна экспериментально найденной. (Магнитное поле?)
- ✦ Распады более тяжелых гиперонов приводят к уменьшению наблюдаемой поляризации.
- ✦ В области энергии NICA происходит усиление поляризации Λ -гиперонов, а также усиление выхода странных частиц, что дает преимущество по изучению этих эффектов.

Спасибо за внимание.