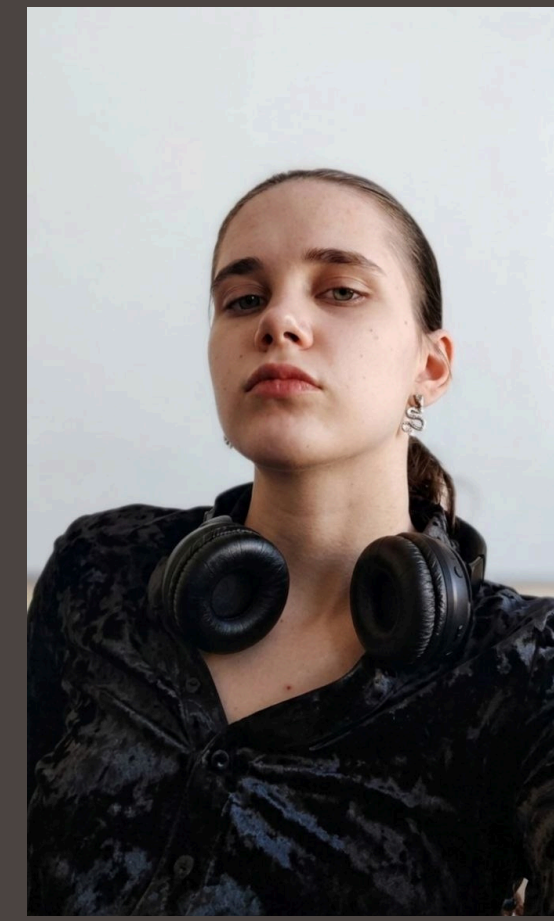


Отношения средней плотности поперечной энергии для мезонов ϕ , K и π в диапазоне $\sqrt{s_{NN}} = 39 \text{ ГэВ} - 5,44 \text{ ТэВ}$ и гипотеза об общем источнике образования



О. Шапошникова¹, А. Марова², Г. Феофилов²

¹ Московский государственный университет, ² Санкт-Петербургский государственный университет

shaposhnikova_om@mail.ru, aleksandra.marova@gmail.com, g.feofilov@spbu.ru

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта ID: 153212394

Мы приводим в работе результаты нашего анализа отношений средней плотности поперечной энергии (dE_T/dy) для идентифицированных мезонов (ϕ , K и π), образующихся в широком диапазоне энергий в самых центральных A+A столкновениях. В работе используется систематический набор экспериментальных данных по распределению поперечного импульса и множественности частиц, полученных в столкновениях систем Au+Au, Pb+Pb и Xe+Xe. Исследование охватывает широкий диапазон энергий столкновения от 39 ГэВ до 5.44 ТэВ, что позволяет сопоставить результаты, полученные на ускорителях SPS, RHIC и LHC.

Основной целью работы является проверка гипотезы о существовании общего источника рождения для мезонов с различным кварковым составом; Мы рассматриваем отношения плотностей поперечной энергии и анализируем их зависимость от величины $\sqrt{s_{NN}}$. Схожесть в поведении этих функций может свидетельствовать об универсальности механизмов рождения частиц.

Полученные результаты обсуждаются в рамках мультимеронной модели, а также в контексте уточненного подхода Бьеркена к расчету плотности энергии, учитывающего вклад различных сортов частиц. [2, 4, 8]

Мотивация

Адроны со странными кварками

- Малое адронное сечение
- Чувствителен к динамике среды
- Может быть легко реконструировано и идентифицировано в эксперименте!

Сравнение отношений выходов частиц со странностью и без нее может указывать на повышенный выход странности.

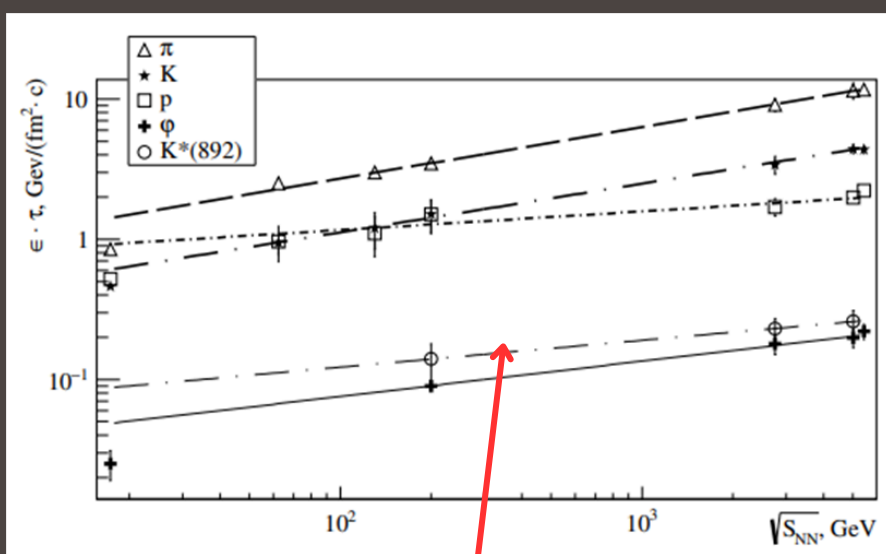
ϕ -мезон (1020)

Самый лёгкий мезон со скрытым ароматом. Содержит только странные кварки.

Частица	Кварковый состав	m, МэВ	τ , с	S_{\perp} спин
π	ud	139	$2.6 \cdot 10^{-8}$	0
K	us^{-} , $u^{-}s$	495	$1.24 \cdot 10^{-8}$	0
ϕ	ss^{-}	1020	$1.54 \cdot 10^{-22}$	1

Предсказание резкого увеличения ϕ -мезона после образования кварк-глюонной плазмы (КГП), по сравнению с другими частицами [3]

Бьоркеновская плотность энергии



Увеличения странности в выходе ϕ -мезонов не наблюдается.

[3]

Мы используем плотность энергии Бьёркена для изучения усиления странности.

Мы видим практически идентичные зависимости — но что будет дальше?

$$\varepsilon \cdot \tau = \frac{dE_{\perp}}{dy} \frac{1}{S_{\perp}}$$

E_{\perp} — полная поперечная энергия

τ — время рождения

S_{\perp} — площадь поперечного сечения двух сталкивающихся ядер

[1] — Abelev et al.(RHIC Collaboration), PHYSICAL REVIEW C 79, 034909 (2009)

[2] — J. D. Bjorken, Phys. Rev. D 27, 140 (1983)

[3] — Asher Shor, PHYSICAL REVIEW LETTERS, 25.70.Np, 12.35.Ht, 21.65 (1985)

[4] — O. Shaposhnikova et al., 2024, Vol. 55, No. 4, pp. 1134–1139.

[5] F. Bissey, et. al., Phys. Rev. D 80, 114506 (2009)

[6] M. A. Braun, C. Pajares, Nucl. Phys. B 390 (1993) 542.

[7] M. A. Braun, R. S. Kolevator, C. Pajares, V. V. Vechernin, Eur. Phys. J. C 32 (2004) 535.

[8] V. N. Kovalenko, Phys. Part. Nucl. 48, no. 6, 945 (2017)

Расчет среднего p_{\perp}

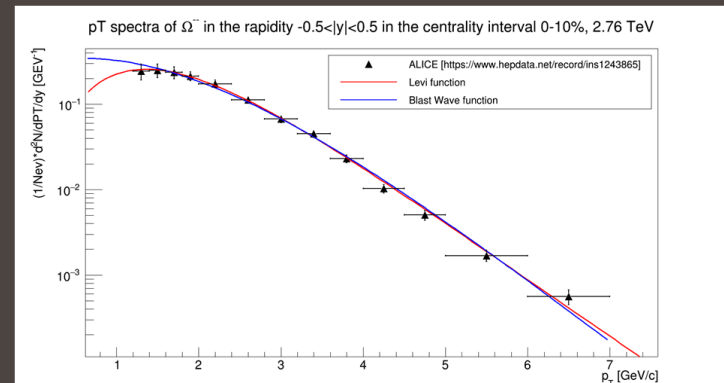
Для оценки систематических ошибок используются две функции:

функция взрывной волны и функция Леви.

Функция Леви:

$$f_L(p_{\perp}) = \frac{norm \cdot (n-1)(n-2)}{nT(nT+m_0(n-2))} \cdot p_{\perp} (1 + \frac{\sqrt{m_0^2 + p_{\perp}^2} - m_0}{nT})$$

n, T и m_0 — параметры подгонки



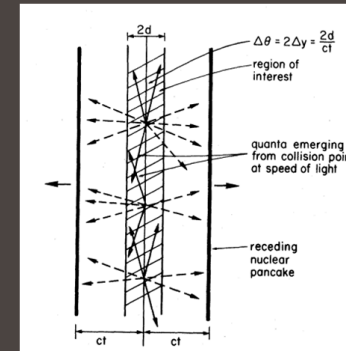
Средний поперечный импульс:

$$\langle p_{\perp} \rangle = \frac{\int_a^b f(p_{\perp}) p_{\perp} dp_{\perp}}{\int_a^b f(p_{\perp}) dp_{\perp}}$$

a и b — расширенные интервалы, охватывающие весь диапазон p_{\perp} .

Поперечная энергия [1]

$$\frac{d \langle E_{\perp} \rangle}{dy} = \langle m_{\perp} \rangle \frac{dN}{dy}$$



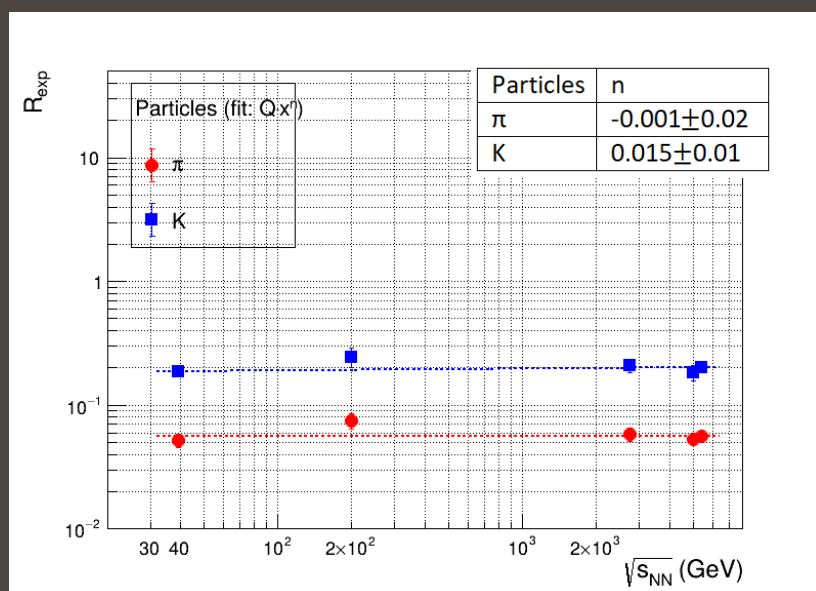
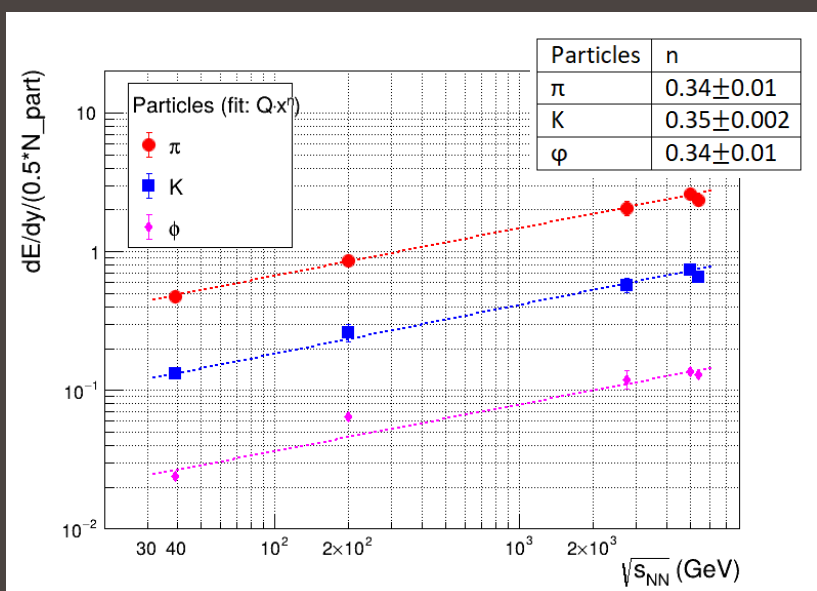
$$\frac{\varepsilon_{\phi} \cdot \tau}{\varepsilon_{particle} \cdot \tau} = \frac{d \langle E_{\perp} \rangle / dy_{\phi}}{d \langle E_{\perp} \rangle / dy_{particle}} \cdot \frac{1}{S_{\perp}} \cdot \frac{S_{\perp}}{1} = \frac{d \langle E_{\perp} \rangle / dy_{\phi}}{d \langle E_{\perp} \rangle / dy_{particle}}$$

Нас интересуют зависимости для отдельных заряженных частиц: л, K, ϕ . События отбираются в наиболее центральной области быстроты $|\eta| < 0,5$ в наиболее центральных столкновениях (0–5%)

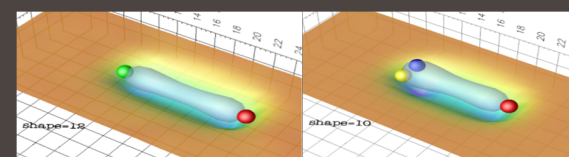
$$\langle m_{\perp} \rangle = \sqrt{m^2 + \langle p_{\perp}^2 \rangle}$$

Для оценки выходной странности мы рассматриваем соотношение плотности энергии Бьёркена ϕ -мезонов к частицам с другой странностью.

$\langle dE_{\perp}/dy \rangle / (0.5 \cdot N_{part})$ particles vs $|\eta| < 0.5, 0-5\%$



A Model of quark-gluon string tension in A+A Collisions



Механизм Швингера рождения кварк-антикварковых пар [1]

параметр натяжения струны — t_{eff}

В области перекрытия струн натяжение струн возрастает; для кластера это соответствует параметру t_{eff} .

Расчет t_{eff}

Относительные выходы частиц, скорректированные на распады адронов:

$$Y_{\nu} \sim \sum_{\mu} M_{\mu\nu} \cdot (2S_{\mu} + 1) \cdot \exp\left(-\frac{\pi(p_{\perp}^2 + m_{\mu}^2)}{t_{eff}}\right)$$

$$\frac{dN}{dy} \sim \sum_{\mu} M_{\mu\theta} \cdot (2S_{\mu} + 1) \cdot \exp\left(-\frac{\pi(p_{\perp}^2 + m_{\mu}^2)}{t_{eff}}\right)$$

$$\frac{\langle dE_{\phi} \rangle}{\langle dE_{\pi} \rangle} = \frac{\langle dN_{\phi} \rangle}{\langle dN_{\pi} \rangle} = \frac{(2S_{\phi} + 1) \cdot \langle m_{\tau} \rangle_{\phi}}{(2S_{\pi} + 1) \cdot \langle m_{\tau} \rangle_{\pi}} \exp\left(\frac{\pi(\langle m_{\tau} \rangle_{\pi}^2 - \langle m_{\tau} \rangle_{\phi}^2)}{t_{eff}}\right) = R$$

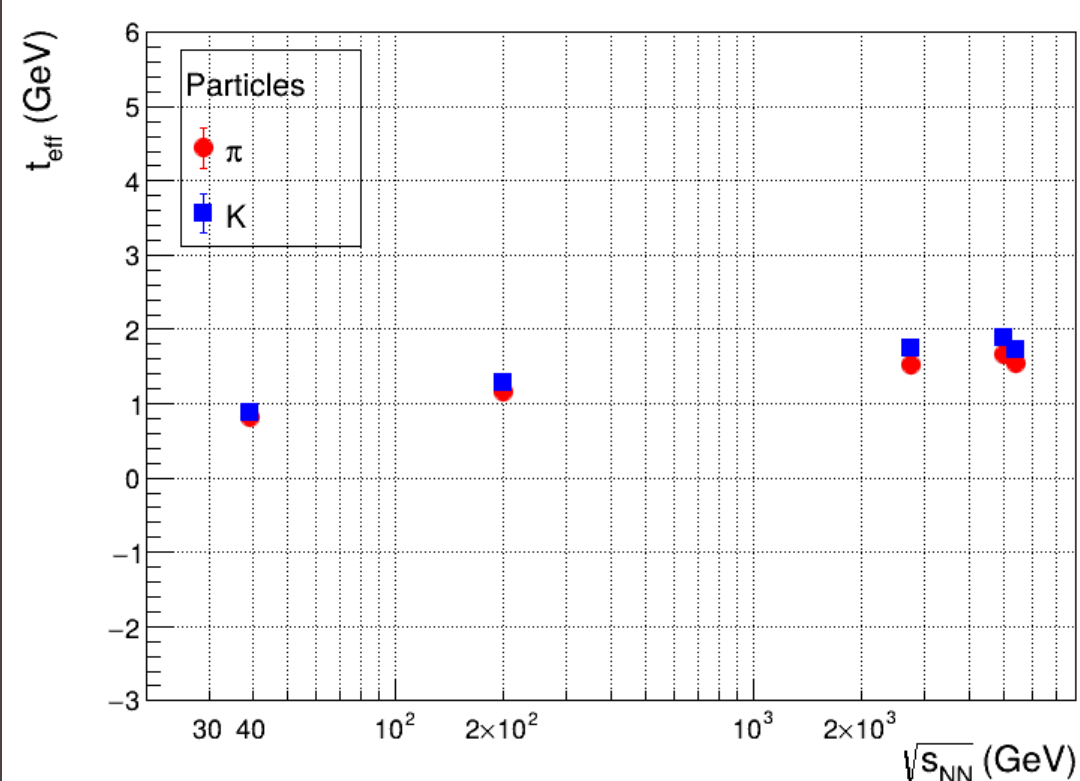
$$t_{eff} = \frac{\pi(\langle m_{\tau} \rangle_{\pi}^2 - \langle m_{\tau} \rangle_{\phi}^2)}{\ln\left(\frac{R(2S_{\pi} + 1) \langle m_{\tau} \rangle_{\pi}}{(2S_{\phi} + 1) \langle m_{\tau} \rangle_{\phi}}\right)}$$

S_{μ} — это спин частицы типа μ .

$M_{\mu\nu}$ эффективный матричный элемент

На первом этапе мы предполагаем, что матричным элементом можно пренебречь.

Погрешность t_{eff} включает в себя погрешность R_{exp} .



t_{eff} возрастает с энергией!

$\sqrt{s_{NN}} \setminus t_{eff_particles}$	π	K
39 GeV	0.81±0.03	0.87±0.02
200 GeV	1.16±0.04	1.29±0.11
2670 GeV	1.53±0.05	1.74±0.09
5020 GeV	1.68±0.01	1.89±0.06
5440 GeV	1.55±0.03	1.73±0.05

Выводы

1. Рост поперечных энергий различных частиц согласно единому закону подтверждается в широком диапазоне энергий столкновений (39–5440 ГэВ) для данного органиченного набора частиц с различной странностью — л, K и ϕ -мезонов.
2. В ходе попытки описать явления с использованием модели кварк-глюонных струн было выявлено возрастание эффективного коэффициента натяжения струны t_{eff} с ростом энергии столкновения. Наше предположение — возрастание t_{eff} обусловлено пересечением струн и возникновением кластеров, что в свою очередь противоречит идее о едином источнике.
3. Планируется расширить количество типов исследуемых заряженных частиц в данном диапазоне энергий более тяжелыми частицами от протонов до омега-гиперонов, развить имеющуюся теорию и её математический аппарат.