

P1-2004-95

Т. Д. Джобава¹, Е. Н. Кладницкая*, Л. Л. Хархелаури¹,
Л. В. Чхаидзе¹

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ
В СС-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
С РОЖДЕНИЕМ Λ -ГИПЕРОНОВ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

¹Институт физики высоких энергий Тбилисского государственного
университета, Тбилиси

*E-mail: Klad@sunhe.jinr.ru

Джобава Т. Д. и др.

P1-2004-95

Изучение коллективных эффектов в СС-взаимодействиях с рождением Λ -гиперонов при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

Исследовались коллективные свойства Λ -гиперонов, образованных в СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон, а также характеристики протонов и π^- -мезонов, рожденных вместе с Λ -гиперонами.

Направленные потоки Λ -гиперонов и протонов из событий с Λ -гиперонами обнаружены при изучении зависимости среднего поперечного импульса этих частиц в плоскости реакции $\langle p_x \rangle$ от быстроты y в с. ц. м. СС-соударений. Потоки Λ -гиперонов и протонов имеют одинаковое направление. Однако величина Λ -потока меньше величины протонного потока. Определен также средний импульс Λ -гиперонов в плоскости реакции $y > 0$ в с. ц. м.

По распределениям Λ -гиперонов, протонов и π^- -мезонов по кинетической энергии, поперечному импульсу и поперечной массе определены температуры этих частиц.

Кварк-глюонная струнная модель хорошо воспроизводит экспериментальные данные.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Djobava T. D. et al.

P1-2004-95

Study of Collective Properties of Λ Hyperons Produced in C-C Collisions at a Momentum of 4.2 GeV/c per Nucleon

The collective properties of Λ hyperons produced in C-C collisions at a momentum of 4.2 GeV/c per nucleon have been investigated. Characteristics of protons and π^- mesons, co-produced with Λ 's, were also studied.

The directed (in-plane) flow of Λ hyperons and co-produced protons have been observed by investigating the dependence of the mean transverse momentum in the reaction plane $\langle p_x \rangle$ on the rapidity y in the c. m. system for C-C collisions. Λ 's and protons flow consistently in the same direction. However, the magnitude of the Λ flow is smaller than that of protons. From the transverse momentum distributions of Λ hyperons and protons with respect to the reaction plane, the flow F (the measure of the collective transverse momentum transfer in the reaction plane) has been extracted. The mean transverse momentum of Λ 's in the reaction plane in the forward rapidity region $y > 0$ has also been estimated.

Temperatures have been obtained from the non-invariant kinetic energy (E_k), transverse momentum and transverse mass distributions of Λ hyperons, protons and π^- mesons, produced associatively with Λ 's. The temperatures of protons produced with and without Λ 's do not reveal any significant difference when compared. A similar tendency has also been observed for π^- mesons.

The Quark-Gluon String Model reproduces quite well the experimental results.

The investigation has been performed at the Veksler and Balдин Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Изучение свойств странных частиц, образованных в релятивистских соударениях тяжелых ионов, дает возможность получить важную информацию о высокоплотной ядерной материи. Благодаря сохранению странности и большому среднему пробегу в ядерной материи, по сравнению с π^- -мезонами, образование странных частиц, в частности Λ -гиперонов, позволяет получить больше информации о ранней стадии соударения ядер и дает возможность проводить исследование уравнения состояния ядерной материи [1]. Эффекты, связанные с потоками Λ -гиперонов, являются хорошей пробой для их потенциалов в среде [2–4].

Теоретическое изучение направленных потоков Λ -гиперонов показывает, что эти потоки нечувствительны к величине сечения Λ -нуклонного взаимодействия, но имеют большую чувствительность к Λ -нуклонному потенциалу [4, 5].

Таким образом, важно получить данные о потоках Λ -частиц в интервале энергий 1–10 ГэВ на нуклон. С этой целью коллаборация E895 на AGS в Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL) исследовала образование Λ -гиперонов и K^0 -мезонов и их коллективные свойства в AuAu-взаимодействиях при энергиях 2; 4 и 6 ГэВ на нуклон (параметр соударения $b < 5$ –6 фм) [6]. Были выполнены измерения направленных потоков Λ -гиперонов, и полученные результаты сравнены с потоками протонов, образованных в тех же AuAu-соударениях. Измерения показали, что направления потоков Λ -гиперонов и протонов совпадают, но поток Λ -частиц имеет меньшую величину по сравнению с протонным потоком. Такой положительный поток для Λ был предсказан в расчетах, которые включали влияние Λ - N -потенциала.

В этой работе представлены экспериментальные результаты исследования коллективных эффектов в СС-взаимодействиях с образованием Λ -гиперонов при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Определены направленные потоки Λ -частиц и протонов, образованных в СС-взаимодействиях, а также температуры Λ -гиперонов, протонов и π^- -мезонов в событиях с рождением Λ -гиперонов. Потоки протонов и π^- -мезонов наблюдались в Дубне в центральных СNe- и СCu-взаимодействиях при 4,5 ГэВ/с на нуклон SKM-200 GIBS-коллаборацией [7, 8] и полужентральных СС-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон, зарегистрированных в 2-м пропановой пузырьковой камере [9].

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В работе использован экспериментальный материал, полученный при облучении 2-м пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, помещенной в магнитное поле 1,5 Тл, ядрами углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Метод выделения СС-соударений из всех взаимодействий ядер углерода с пропаном (C_3H_8), идентификация частиц и определение поправок подробно описаны в [10]. В состав использованного ансамбля СС-взаимодействий вошли однозначно идентифицированные СС-события с «весом» $W = 1$ и события с $W = 0,21$ из группы неразделенных СС- или Cp -событий.

Найденные в СС-событиях V^0 -частицы измерялись и идентифицировались. Методика обработки и анализа V^0 -частиц подробно описана в [11]. В итоге статистика странных частиц составила 687 Λ -гиперонов с модой распада на p и π^- и 287 K_s^0 -частиц ($K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$).

Изучение коллективных эффектов требует анализа каждого отдельного события (event-by-event анализ). Для изучения коллективных эффектов использованы т. н. полужетронные СС-события с $N_{p_{\text{уч}}} \geq 3$. Таких событий оказалось 13004 с $N_{p_{\text{уч}}} = 76002$ и $N_{\pi^-} = 23781$.

Для определения направленных потоков Λ -гиперонов и протонов использовались только протоны-участники с импульсом $p > 0,25$ ГэВ/с без стрипинговых фрагментов с $p > 3,5$ ГэВ/с и $\theta < 3^\circ$.

Для Λ -гиперонов, зарегистрированных в полужетронных событиях, вводились следующие поправки:

- 1) на потерю Λ вблизи вершины родительской звезды и вне эффективной области камеры ($w = 1,35$),
- 2) на азимутальную анизотропию ($w = 1,16$),
- 3) на потерю Λ -частиц в передней полусфере с. ц. м. ($w = 1,10$).

Числа в скобках представляют усредненные поправки, в ходе корректировки потерь поправки вводились на каждое отдельное событие.

Усредненная общая поправка для Λ -гиперонов оценена как $w_s = 1,72 \pm 0,04$.

Каждый Λ -гиперон включался в распределение со своим индивидуальным «весом».

2. ПОПЕРЕЧНЫЙ ПОТОК Λ -ГИПЕРОНОВ

Для изучения коллективных потоков Λ -гиперонов и протонов, сопровождающих рождение Λ -гиперонов, использовался метод Danielewicz и Odyniec [12].

Большинство экспериментальных данных при энергии менее 4 ГэВ на нуклон анализировалось этим методом. Он дает удовлетворительные резуль-

таты даже при малой статистике, полученной на фильмовых детекторах. Этот метод основан на суммировании поперечных импульсов выделенных частиц.

Плоскость реакции определяется параметром соударения сталкивающихся ядер \mathbf{b} и осью пучка. Так как экспериментальное определение \mathbf{b} невозможно, в методе Danielewicz и Oduńiec вектор \mathbf{b} заменен вектором \mathbf{Q} . Вектор \mathbf{Q} определялся в каждом индивидуальном событии с использованием только протонов-участников:

$$\mathbf{Q} = \sum_{i=1}^n \omega_i \mathbf{p}_{ti}, \quad (1)$$

где \mathbf{p}_{ti} — вектор поперечного импульса частицы i , «весовой» фактор $\omega_i = 1$ для $y_i > 0$ и $\omega_i = -1$ для $y_i < 0$, где y_i — быстрота частицы i , а n — число протонов-участников в событии.

Мы заменим «весовой» фактор ω_i на непрерывную функцию $\omega_i = y_i - \langle y \rangle$, как сделано в [7, 8, 13], где $\langle y \rangle$ — средняя быстрота, рассчитанная по всем протонам-участникам для каждого события. Для определения плоскости реакции в каждом индивидуальном событии выделялись события с числом протонов-участников не менее трех. Чтобы избежать автокорреляций, Danielewicz и Oduńiec [12] предложили оценивать плоскость реакции для каждой частицы j , используя вектор \mathbf{Q}_j :

$$\mathbf{Q}_j = \sum_{i \neq j}^n \omega_i \mathbf{p}_{ti}, \quad (2)$$

т. е. суммарный вектор всех частиц в событии, кроме частицы j . Поперечный импульс каждой частицы, а именно Λ -гиперона и протона, в оцененной плоскости реакции рассчитывался как

$$p'_{xj} = \{\mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{p}_{tj} / |\mathbf{Q}_j|\}. \quad (3)$$

Такая процедура исключает любую автокорреляцию.

Далее определялась зависимость среднего поперечного импульса частицы в плоскости реакции $\langle p_x \rangle$ от быстроты.

Средний поперечный импульс $\langle p_x(y) \rangle$ получен путем усреднения по всем событиям в соответствующих интервалах быстроты.

Известно [13], что оцененная плоскость реакции отличается от истинной из-за ограниченного числа частиц в каждом событии. Компонента p_x в истинной плоскости реакции систематически больше, чем p'_x в оцененной плоскости:

$$\langle p_x \rangle = \langle p'_x \rangle / \langle \cos \varphi \rangle, \quad (4)$$

где φ — угол между оцененной и истинной плоскостями. Фактор $K = 1 / \langle \cos \varphi \rangle$ — объект большой неопределенности, особенно для событий с малой множественностью.

В [12] был предложен метод для определения фактора K . По этому методу каждое событие делится на два почти равных подсобытия, в них определяются векторы \mathbf{Q}_1 и \mathbf{Q}_2 и строится распределение по азимутальному углу между этими двумя векторами. Дисперсия этого распределения определяет различие между истинной и оцененной плоскостями реакции. Коэффициент K зависит от множественности частиц в событии, и, естественно, поправка больше для событий с малой множественностью. Из-за ограниченной статистики Λ -гиперонов коэффициент K в данной работе определялся для всего ансамбля полуцентральных СС-событий (13004 событий) путем усреднения по всем множественностям: $K = 1,35 \pm 0,7$.

На рис. 1 представлена зависимость скорректированного $\langle p_x \rangle$ от y для Λ -гиперонов (рис. 1, *a*) и протонов, рожденных вместе с Λ -гиперонами (рис. 1, *б*) в полуцентральных СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Как можно видеть, эта зависимость имеет s-образную форму, которая демонстрирует передачу коллективного поперечного импульса между задней и передней полусферами в с. ц. м.

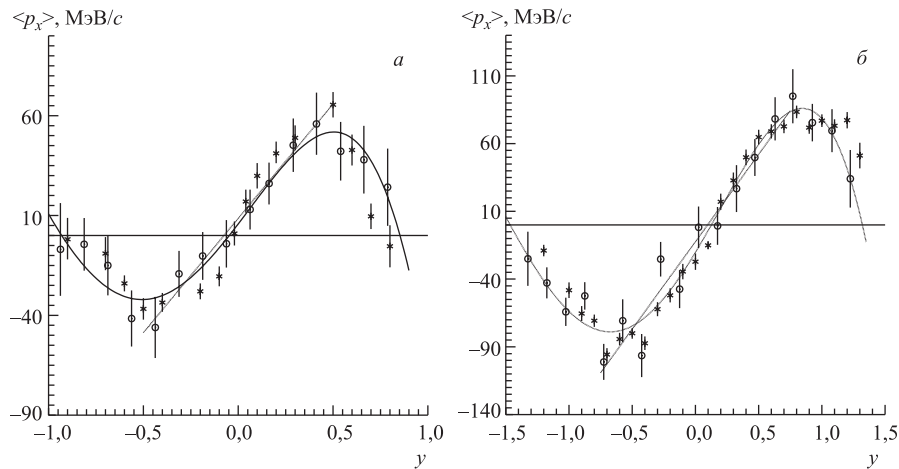


Рис. 1. Зависимость $\langle p_x \rangle$ от y для Λ -гиперонов (*a*) и протонов, рожденных вместе с Λ (*б*) в СС-соударениях в с.ц.м.: о — экспериментальные данные, * — данные QGSM. Прямые — результат линейной аппроксимации экспериментальных данных в интервале y от $-0,5$ до $0,5$ для Λ -гиперонов и от $-0,75$ до $0,75$ для протонов. Сплошная кривая — результат аппроксимации экспериментальных данных полиномом 4-го порядка

На рис. 1 наглядно видно, что потоки Λ -гиперонов и протонов имеют одинаковое направление. Анализ зависимости $\langle p_x \rangle$ от y дает возможность получить величины, чувствительные к уравнению состояния ядерной материи. Одна из них — средний поперечный импульс частицы в плоскости реакции в области $y > 0$. Другая — наклон импульсного распределения в точке $y = 0$, называемая потоком F :

$$F = \frac{d|p_x|}{dy} / y_{с.п.м} = 0.$$

F есть мера коллективного поперечного импульса, передаваемого в плоскость реакции, т. е. мера интенсивности ядерного взаимодействия. Величина F менее подвержена экспериментальным погрешностям, чем максимум p_x , и это дает возможность сравнивать различные реакции и результаты различных экспериментов между собой.

Величина $F = 117 \pm 15$ МэВ/с для Λ -гиперонов и $F = 130 \pm 11$ МэВ/с для протонов из событий с Λ -гиперонами. Эти данные получены при линейной аппроксимации экспериментальных точек в интервалах y от $-0,5$ до $+0,5$ для Λ и от $-0,75$ до $+0,75$ для протонов (рис. 1). Для ансамбля полуцентральных 9490 СС-соударений с более жесткими критериями отбора поток протонов $F = 136 \pm 11$ МэВ/с [9].

Можно видеть, что величины протонных потоков совпадают для протонов, образованных вместе с Λ -гиперонами и без них в полуцентральных взаимодействиях с различными критериями отбора. В то же время величина Λ -потока меньше, чем для протонов. Этот результат согласуется с предыдущими измерениями потоков Λ -гиперонов, выполненных коллаборацией E895 на AGS в AuAu-взаимодействиях при энергиях 2; 4; 6 ГэВ/с на нуклон [6] ($F = 140 \pm 35$ МэВ/с при 2 ГэВ на нуклон, $F = 85 \pm 15$ МэВ/с при 4 ГэВ на нуклон и $F = 65 \pm 5$ МэВ/с при 6 ГэВ на нуклон). Коллаборация EOS в LBL для потока Λ -гиперонов в NiCu-соударениях при 2 ГэВ на нуклон получила $F = 85 \pm 43$ МэВ/с. Релятивистская транспортная модель RVUU предсказывает для Λ -потока в NiCu-взаимодействиях при энергии 2 ГэВ на нуклон величину $F = 96 \pm 17$ МэВ/с [14], которая совпадает с экспериментальным результатом. Таким образом, приведенные выше результаты указывают на постепенное уменьшение Λ -потока с увеличением энергии пучка. Следует подчеркнуть, что СС — самая легкая система сталкивающихся ядер, в которой наблюдался поперечный (направленный) поток Λ -гиперонов.

Наблюдаемая тенденция к уменьшению Λ -потоков с увеличением энергии похожа на таковую, наблюдаемую для протонов как в событиях с образованием Λ -гиперонов, так и без них [6, 15]. Уменьшение F с увеличением энергии пучка согласуется с предположением, что поток Λ -гиперонов отражает коллективный поток барион-барионных и пион-барионных пар, от которых

они (Λ) образуются [6]. Эта тенденция также может быть результатом ослабления эффектов перерасеяния и(или) потенциала притяжения Λ -нуклон [6].

Средний поперечный импульс Λ -гиперонов в плоскости реакции в области $y > 0$ оказался равным $\langle p_x \rangle_{y > 0} = 82 \pm 11$ МэВ/с.

Экспериментальные результаты по направленному потоку Λ -гиперонов сравнивались с предсказаниями модели кварк-глюонных струн (Quark-Gluon-String Model — QGSM). Детальное описание QGSM можно найти в [16, 17]. Мы генерировали неупругие СС-соударения, используя COLLI монтекарловский генератор [18], основанный на QGSM. Из нагенерированных соударений при 4,2 ГэВ/с было зарегистрировано 7578 событий с Λ -гиперонами. К QGSM-событиям применены экспериментальные критерии отбора протонов-участников ($p > 0,25$ ГэВ/с без стриппинговых фрагментов с $p > 3,5$ ГэВ/с и $\theta < 3^\circ$). Для анализа Λ -потоков использовались события с $n_{p_{\text{уч}}} \geq 3$.

Распределение $\langle p_x \rangle$ по y для моделированных Λ -гиперонов (рис. 1, а) хорошо согласуется с экспериментальными данными. Величина потока Λ , полученная по QGSM, $F = 120 \pm 9$ также согласуется с экспериментальным значением. По модели величина среднего поперечного импульса Λ -гиперонов в плоскости реакции в области $y > 0$ равна $\langle p_x \rangle_{y > 0} = 94 \pm 7$ МэВ/с.

3. ТЕМПЕРАТУРЫ Λ -ГИПЕРОНОВ, ПРОТОНОВ И π^- -МЕЗОНОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ВМЕСТЕ С Λ -ГИПЕРОНАМИ

Измерение адронных спектров играет важную роль в определении условий образования файерболов в центральных ядро-ядерных соударениях и может помочь в понимании динамики реакций.

Такие канонические параметры уравнения состояния ядерной материи (EOS), как температура, плотность, давление, могут быть экспериментально определены только по конечным продуктам реакции. Для получения температуры вторичных адронов обычно оценивают величину параметра наклона инклюзивного спектра. Важно понять, к какому моменту взаимодействия необходимо отнести измеренную величину. Решение этой проблемы зависит от использованного экспериментального метода. Предполагается, что наклоны спектров говорят нам о температуре, при которой рассматриваемые частицы перестают взаимодействовать (freeze-out). Цель получения таких температур для Λ -гиперонов, нуклонов, мезонов и кластеров, наблюдаемых в одной и той же реакции, состоит в продлении динамической траектории системы по всему процессу расширения [19].

Измеренные спектры частиц после перевода их в систему центра масс сталкивающихся ядер могут быть описаны простым классическим соотноше-

нием [19–21]:

$$\frac{d^3\sigma}{dp^3} = \frac{d^3\sigma}{E \cdot p \cdot dE d\Omega} = \text{const} \cdot \exp\left(\frac{-E}{T}\right), \quad (5)$$

что позволяет определить температуру частицы по наклону спектра. Нами оценены температуры Λ -гиперонов, протонов и пионов путем использования: 1) инклюзивных спектров кинетических энергий E_k , 2) спектров поперечных импульсов p_t и 3) спектров поперечных масс $m_t = \sqrt{p_t^2 + m_0^2}$.

Для фита каждого экспериментального спектра использовался простой экспоненциальный закон

$$F(E_k) = (Ep)^{-1} dn/dE_k = A \cdot \exp\left(\frac{-E_k}{T}\right), \quad (6)$$

где E — полная, а E_k — кинетическая энергия частиц в с. п. м.; p — импульс частицы. Температура связана со средней кинетической энергией данного типа частиц и, следовательно, характеризует температуру ядерной материи на стадии испускания частиц.

Параметр T обычно называют средней или инклюзивной температурой. Во многих экспериментах [22–25] T определяется по инвариантным спектрам частиц.

Температура также может быть определена по распределению поперечных импульсов частиц. Этот метод был предложен в термодинамической модели Хагедорна (Hagedorn) [26]. Некоторые авторы [26, 27] считают, что распределения по поперечному импульсу предпочтительнее для определения T из-за лоренцевской инвариантности p_t . Распределения по поперечному импульсу частиц описывались следующей функцией [20, 26]:

$$dN/dp_t = \text{const} \cdot p_t \cdot m_t \cdot K_1(m_t/T) \approx \text{const} \cdot p_t (T \cdot m_t)^{1/2} \cdot \exp\left(\frac{-m_t}{T}\right), \quad (7)$$

$K_1(x)$ — функция Мак-Дональда (Mac-Donald) [28].

Для описания распределений по поперечной массе использовалась функция

$$F(m_t) = \frac{1}{m_t^2} \cdot dN/dm_t = A \cdot \exp\left(\frac{-m_t}{T}\right). \quad (8)$$

Температуры, определенные по распределениям кинетической энергии (E_k), поперечного импульса (p_t) и поперечной массы (m_t) для Λ -гиперонов, протонов и π^- -мезонов, образовавшихся вместе с Λ -гиперонами, а также в обычных (без рождения Λ) СС-взаимодействиях в области быстрот $|y^*| < 0,6$ в с. п. м., даются в таблице. Распределения по кинетической энергии, поперечному импульсу и поперечной массе Λ -гиперонов, протонов и π^- -мезонов, образованных с и без Λ -гиперонов в СС-соударениях, вместе с результатами фита показаны на рис. 2–4. Из таблицы можно видеть, что все три

Тип частицы	Тип события	Число частиц	T, МэВ		
			dN/dp_t	dN/dE_k	dN/dm_t
Λ	Эксп.	687	105 ± 7	111 ± 7	103 ± 6
	QGSM	7578	106 ± 3	105 ± 3	102 ± 3
p с Λ	Эксп.	3961	135 ± 5	132 ± 4	128 ± 4
	QGSM	33653	133 ± 3	128 ± 3	129 ± 3
p без Λ	Эксп.	76002	140 ± 3	136 ± 3	134 ± 3
	QGSM	213560	136 ± 2	133 ± 2	130 ± 2
π^- с Λ	Эксп.	1146	94 ± 2	85 ± 2	81 ± 2
	QGSM	12005	93 ± 2	88 ± 2	81 ± 2
π^- без Λ	Эксп.	23781	98 ± 2	86 ± 2	85 ± 2
	QGSM	66820	96 ± 2	90 ± 2	84 ± 2

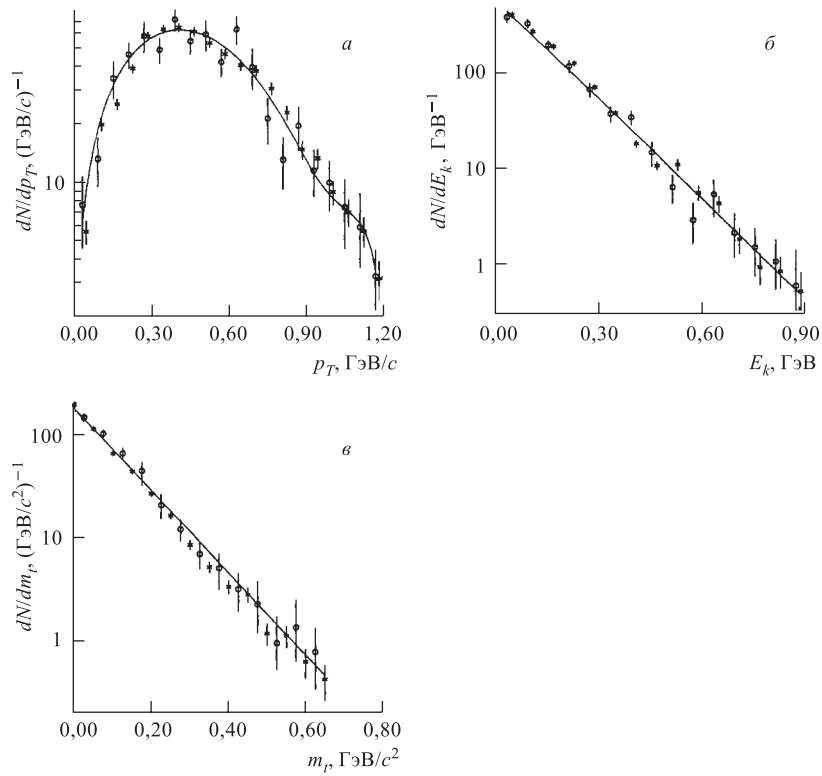


Рис. 2. Распределения Λ -гиперонов в СС-соударениях по поперечному импульсу (а), кинетической энергии E_k (б) и поперечной массе m_t (в). о – эксперимент, * — QGSM

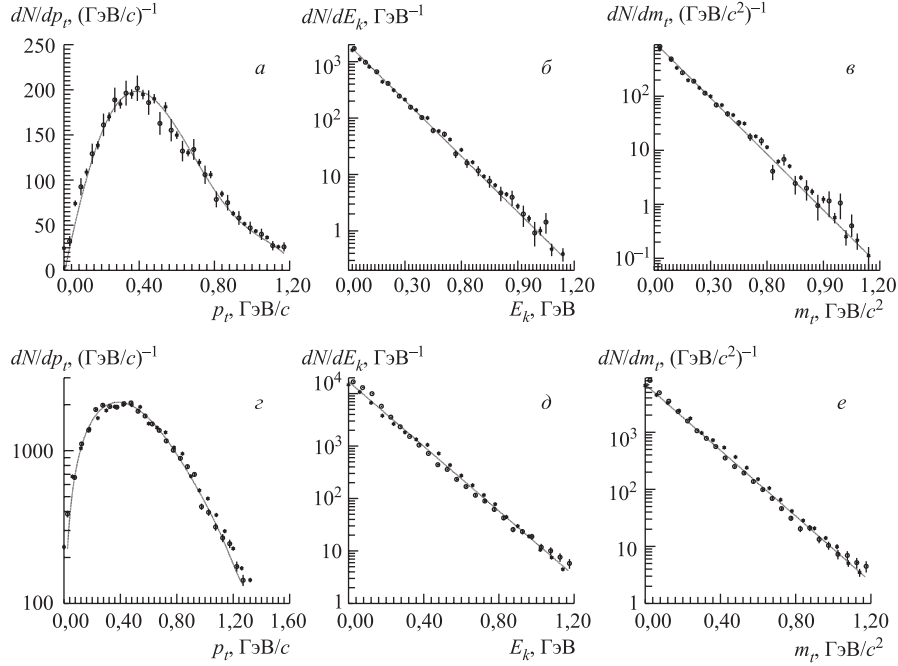


Рис. 3. Распределения протонов из событий с Λ -гиперонами по поперечному импульсу (а), кинетической энергии E_k (б) и поперечной массе m_t (в); з, д, е — соответствующие распределения протонов из событий без Λ -гиперонов в СС-соударениях. о — эксперимент, * — QGSMM

подхода дают согласующиеся величины температур для всех частиц. Для Λ -гиперонов получены температуры $T_\Lambda = 103 \div 111$, которые меньше температур, полученных для протонов, образованных с ($T_p = 128 \div 135$ МэВ) и без Λ -гиперонов ($T_p = 134 \div 140$ МэВ). Как видно из приведенных данных, образование Λ -гиперонов не влияет на температуру протонов в СС-соударениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон (см. таблицу). Аналогичный результат получен для π^- -мезонов. Наглядное представление о близости кинематических характеристик (E_k, p_t, m_t) протонов и π^- -мезонов в событиях с Λ -гиперонами и без них дают рис. 3, а, б, в с Λ и рис. 3, з, д, е, 4, з, д, е без Λ . Для π^- -мезонов область быстрот $|y| < 0,8$ в с.ц.м. Ранее температура π^- -мезонов с рождением Λ -гиперонов была определена в центральных MgMg-взаимодействиях при 4,3 ГэВ/с на нуклон [29]: $T_{\pi^-} = 91 \pm 2$ МэВ [29].

Температуры Λ -гиперонов и протонов в NiCu-соударениях получены коллаборацией EOS (Bevalak) [14]. Применение формулы Siemens–Rasmussen

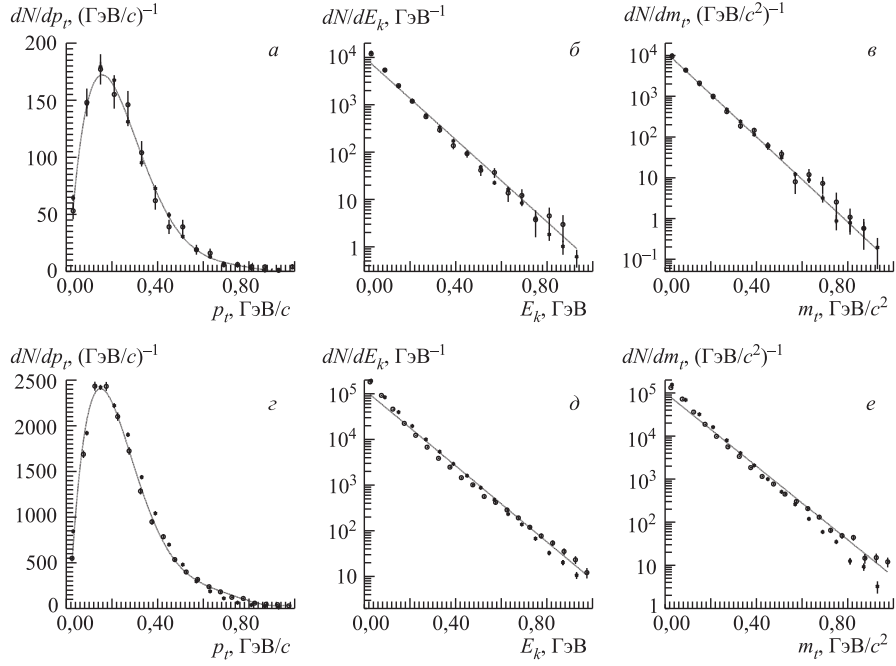


Рис. 4. Распределения π^- -мезонов из событий с Λ -гиперонами по поперечному импульсу (а), кинетической энергии E_k (б) и поперечной массе m_t (в); з, д, е — соответствующие распределения π^- -мезонов из событий без Λ -гиперонов в СС-соударениях. о — эксперимент, * — QGSM

[30] к экспериментальным m_t -распределениям при фиксированной скорости радиального потока β_r ($\beta_r = 0$) дает значения $T_\Lambda = 106 \pm 5$ МэВ [14], $T_p = 142 \pm 1$ МэВ [14]. ARC каскадная модель дает для тех же взаимодействий $T_\Lambda = 91 \pm 2$ МэВ и $T_p = 121 \pm 1$ МэВ [14].

В центральных AuAu-взаимодействиях с рождением Λ -гиперонов при энергиях AGS (коллаборация E891) в интервале быстрот от 1,7 до 3,2 и интервале поперечных кинетических энергий от 0,0 до 0,7 ГэВ [31] распределение Λ -гиперонов по поперечной массе было параметризовано в терминах Blast Wave аппроксимации и получена температура Λ -гиперонов $T_\Lambda = 96 \pm 37$ МэВ [31] после freeze-out ядерной материи.

Проведено сравнение экспериментальных данных с расчетами по модели QGSM. Температуры Λ -гиперонов, протонов и π^- -мезонов, образованных вместе с Λ -частицами и без них, оцененные по распределениям смодели-

рованных СС-событий по инвариантной кинетической энергии E_k , поперечному импульсу и поперечной массе, представлены в таблице. Соответствующие распределения смоделированных событий показаны на рис. 2–4 вместе с экспериментальными. Можно видеть, что QGSM воспроизводит экспериментальные распределения и дает значения температур, совпадающие с экспериментальными (см. рис. 1–4 и таблицу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы коллективные свойства Λ -гиперонов, образованных в СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Исследованы также характеристики протонов и π^- -мезонов, образовавшихся в тех же событиях, что и Λ -гипероны.

1. Получено доказательство существования направленных потоков в плоскости СС-реакции для Λ -гиперонов и образовавшихся вместе с ними протонов. Направления потоков Λ -гиперонов и протонов совпадают. Однако величина Λ -потока меньше, чем для протонов: $F_\Lambda = 117 \pm 15$, $F_p = 132 \pm 17$. Напомним, что поток F служит мерой коллективного поперечного импульса, передаваемого в плоскость реакции. Средний поперечный импульс Λ -гиперонов в плоскости реакции в области быстрот $y > 0$ оказался равным $\langle p_x \rangle_{y>0} = 82 \pm 11$ МэВ/с.

2. Получены температуры Λ -гиперонов, а также протонов и π^- -мезонов, сопровождающих образование Λ -гиперонов. Для получения температур Λ -гиперонов, протонов и π^- -мезонов использованы их распределения по кинетической энергии, поперечному импульсу и поперечной массе. Все три подхода дают согласующиеся значения температур для всех частиц. Для Λ -гиперонов получена $T_\Lambda = 107 \pm 6$ МэВ, которая меньше температуры протонов, образовавшихся с ($T_\Lambda = 128 \div 135$ МэВ) и без ($134 \div 140$ МэВ) Λ -гиперонов.

Температура π^- -мезонов меньше T_Λ и T_p ($T_\pi = 86 \pm 6$ МэВ), но, как и для протонов, практически одинакова в событиях с Λ -гиперонами и без них.

3. Все экспериментальные результаты сравнены с предсказаниями кварк-глюонной струнной модели. Модель хорошо воспроизводит экспериментальные данные.

Благодарности

Авторы глубоко благодарны Н. С. Амаглобели за его постоянную поддержку работы. Авторы признательны Н. С. Амелину за обеспечение QGSM-кодированной программой COLLI. Один из авторов (Л. В. Чхаидзе) благодарит дирекцию Лаборатории высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ за теплый прием, а также Ю. Лукстиньша и О. Рогачевского за помощь при подготовке работы к печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Aichelin J. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. P. 2661.
2. *Weise W.* // Nucl. Phys. A. 1996. V. 610. P. 35c.
3. *Li G. Q. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 74. P. 235.
4. *Li G. Q. et al.* // Phys. Rev. C. 1996. V. 54. P. 1897.
5. *Li G. Q. et al.* // Nucl. Phys. A. 1998. V. 636. P. 487.
6. *Chung P. et al.* arXiv:nucl-ex/0101002, 2001; *Pinkenburg C. et al.* // Nucl. Phys. A. 2002. V. 698. P. 495.
7. *Chkhaidze L. et al.* // Phys. Lett. B. 1997. V. 411. P. 26.
8. *Chkhaidze L. et al.* // Phys. Lett. B. 2000. V. 479. P. 21.
9. *Чхаидзе Л. В. и др.* // ЯФ. 2004. Т. 67. С. 715.
10. *Бондаренко А. и др.* Сообщение ОИЯИ № P1-98-292. Дубна, 1998.
11. *Армутлийски Д. и др.* // ЯФ. 1986. Т. 43. С. 366.
12. *Danielewicz P. and Odyniec G.* // Phys. Lett. B. 1985. V. 157. P. 146.
13. *Beavis O. et al.* // Phys. Rev. C. 1986. V. 33. P. 1113.
14. *Justice M. et al.* // Phys. Lett. B. 1998. V. 440. P. 12.
15. *Liu H. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 5488.
16. *Амелин Н. и др.* // ЯФ. 1990. Т. 51. С. 512; *Amelin N. et al.* // Sov. J. Nucl. Phys. 1990. V. 51. P. 327; *Амелин Н. и др.* // ЯФ. 1990. Т. 52. С. 272; *Amelin N. et al.* // Sov. J. Nucl. Phys. 1990. V. 52. P. 172.
17. *Amelin N. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 67. P. 1523.
18. *Амелин Н. С. и др.* Препринт ОИЯИ № P2-86-837. Дубна, 1986.
19. *Nagamiya S. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1982. V. 49. P. 1383.
20. *Stock R.* // Phys. Rep. 1986. V. 135. P. 261.
21. *Karusta J.* // Phys. Rev. C. 1977. V. 16. P. 1493.
22. *Hagedorn R.* Cargese Lectures in Physics, VI, ed. E. Schatzmann (Gordon and Breach), N.Y., 1973. P. 643.
23. *Nagamiya S. et al.* // Phys. Rev. C. 1987. V. 24. P. 971.

24. *Brockman R. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 53. P. 2012.
25. *Гришин В. Г. и др.* // ЯФ. 1987. Т. 46. С. 832; *Grishin V. G. et al.* // Sov. J. Nucl. Phys. 1987. V. 46. P. 473.
26. *Hagedorn R.* // Suppl. Nuovo Cimento. 1965. V. 3. P. 147; *Hagedorn R. and Ranft J.* // Suppl. Nuovo Cimento. 1968. V. 6. P. 169; *Hagedorn R. and Rafelski J.* // Phys. Lett. B. 1980. V. 97. P. 136; *Hagedorn R.* CERN Preprint, CERN-TH-3918, 1984. P. 24.
27. *Гудима К., Тонеев В. и др.* // ЭЧАЯ. 1986. Т. 17. С. 1093.
28. *Gradstein I. and Ryzik I.* // Tables of Integrals, Sums and Rows. – Moscow: Nauka. 1971. P. 981.
29. *Авраменко С. и др.* // ЯФ 1992. Т. 55. С. 721; *Avramenko S. et al.* // Sov. J. Nucl. Phys. 1992. V. 55. P. 400.
30. *Siemens S., Rasmussen I. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1979. V. 42. P. 880
31. *Ahmad S. et al.* // Nucl. Phys. A. 1998. V. 636. P. 507.

Получено 22 июня 2004 г.

Редактор *Е. В. Калинин*

Подписано в печать 13.08.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,87. Уч.-изд. л. 1,09 Тираж 365 экз. Заказ № 54572.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/