

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3680/83

18/7-83

P1-83-229

Е.Н.Кладницкая, В.М.Попова

ОБРАЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ Λ -ГИПЕРОНОВ
В Π^- С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 40 ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1983

Гипотеза о кумулятивном эффекте ^{1/1} стимулировала появление большого количества экспериментальных работ по изучению образования частиц на ядрах в области, кинематически запрещенной для рождения на свободном нуклоне. Однако экспериментов, в которых изучалось кумулятивное образование Λ -гиперонов, довольно мало - это исследование рождения кумулятивных Λ -гиперонов π^- -мезонами на ядрах углерода и ксенона при импульсе π^- -мезонов 2,9 ГэВ/с ^{2/2}, изучение образования кумулятивных Λ -гиперонов π^- -мезонами с импульсом 3,9 ГэВ/с на фреоне /смесь ядер С, F, Cl, $\bar{A} = 22,5/$ ^{3/3} и работа по кумулятивному образованию Λ -гиперонов на ядре углерода нейтронами со средним импульсом 7 ГэВ/с и π^- -мезонами с импульсом 4 ГэВ/с ^{4/4}.

В настоящей работе представлены результаты исследования кумулятивного образования Λ -гиперонов в π^- С-взаимодействиях при импульсе π^- -мезона 40 ГэВ/с. Экспериментальный материал получен при обработке ~100 тысяч фотографий с двухметровой пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной на ускорителе в Серпухове. Критерии отбора π^- С-событий, отбор и идентификация нейтральных странных частиц, сопровождающих первичные взаимодействия, а также экспериментальные результаты по рождению Λ -гиперонов в π^- р- и π^- С-взаимодействиях при 40 ГэВ/с представлены в работах ^{5-8/}.

При выделении кумулятивных Λ -гиперонов мы руководствовались следующим условием: кумулятивное число ^{9/} должно быть больше единицы ($Q > 1$). Величина Q определялась по формуле

$$Q = \frac{E_{\Lambda} - P_{\Lambda} \cos \theta_{\Lambda}}{m}$$

которая справедлива при высоких начальных энергиях ($\beta_{\pi} \approx 1$). Здесь E_{Λ} , P_{Λ} и θ_{Λ} - энергия, импульс и угол вылета Λ -гиперона в лаб. системе соответственно; m - масса нуклона. Всего в эффективном объеме камеры оказалось 54 Λ -гиперона с $Q > 1$. Из них 46 Λ -гиперонов имеют угол вылета $\theta_{\Lambda} > \theta_{\Lambda}^{\max}$. Угол θ_{Λ}^{\max} находился из соотношения

$$\sin \theta_{\Lambda}^{\max} = \frac{\sqrt{s}}{m_{\Lambda}} \frac{P_{\Lambda}^{\max}}{P_{\pi^-}^{\text{лаб.}}},$$

где $\sqrt{s} = 8,72$, $m_{\Lambda} = 1,1156$ ГэВ/с, $P_{\pi^-}^{\text{лаб.}} = 40$ ГэВ/с, P_{Λ}^{\max} - максимально возможный в данном событии импульс Λ -гиперона в системе центра масс π^- N при рождении на свободном нуклоне. При расчете принимались во внимание все заряженные частицы, которые

Таблица 1

$\pi^-^{12}\text{C}$	$\langle P_{\perp} \rangle$, ГэВ/с	$\langle P_{\parallel} \rangle$, ГэВ/с	$\langle Y_{\text{лаб.}} \rangle$	$\langle Q \rangle$	$\langle \theta_{\text{лаб.}} \rangle$, град	$\langle n_{\pm} \rangle$
все Λ	$3,52 \pm 0,13$	$0,478 \pm 0,010$	$1,36 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,01$	$17,7 \pm 0,4$	$8,16 \pm 0,10$
$\Lambda_{\text{кум.}}$	$0,63 \pm 0,06$	$0,51 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,02$	$1,16 \pm 0,02$	70 ± 3	$7,9 \pm 0,4$

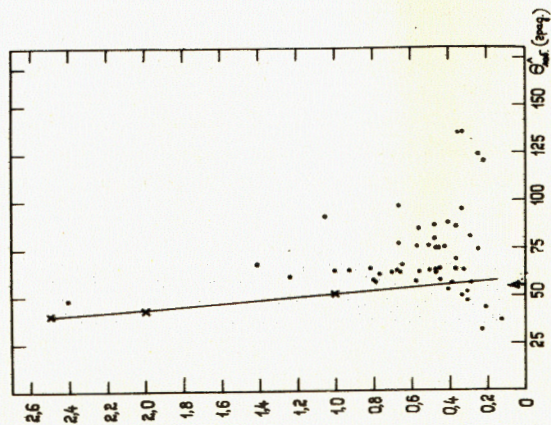


Рис.1. Распределение импульсов кумулятивных Λ -гиперонов в зависимости от угла их вылета в лаб. системе. Стрелка соответствует предельному углу для рождения Λ -гиперонов на свободном нуклоне. Пояснения к кривой см. в тексте.

наблюдались в данном конкретном событии. Видимо, величина угла $\theta_{\Lambda}^{\text{max}}$ для событий с $\theta_{\Lambda} < \theta_{\Lambda}^{\text{max}}$ и $Q > 1$ завышена из-за неучета образовавшихся в этих событиях нейтральных частиц.

Следует отметить, что на том же экспериментальном материале найдено всего два K_s^0 -мезона с $Q > 1$.

На рис.1 показано распределение импульсов кумулятивных Λ -гиперонов в зависимости от угла их вылета в лабораторной системе. Кривая представляет собой границу кинематической области для реакции $\pi^- N \rightarrow \Lambda K 2\pi$ при взаимодействии π^- -мезона с импульсом 40 ГэВ/с с движущимся нуклоном ядра углерода. В расчетах принималось, что распределение фермиевских импульсов следует закону Гаусса с $\sigma = 90$ МэВ/с и средним импульсом 140 МэВ/с. Заметим, что в $\pi^- N$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с вместе с Λ -гипероном в среднем рождается $5,2 \pm 0,2$ заряженных частиц $^{10/}$, $2,9 \pm 0,3$ π^0 -мезонов $^{11/}$ и $0,5$ K^0 -мезонов $^{8/}$, т.е. в общей сложности $8,6 \pm 0,4$ частицы. События, соответствующие реакциям $\pi^- N \rightarrow \Lambda K \pi^-$ и $\pi^- N \rightarrow \Lambda K$, составляют меньше 1% от всех событий с образованием Λ -гиперонов $^{8/}$, и поэтому кривая на рис.1 может служить граничной для рождения Λ -гиперонов в $\pi^- N$ -взаимодействиях на движущемся нуклоне. Видно, что большинство Λ -гиперонов с $Q > 1$ выходит за пределы этой границы. Иными словами, наблюдаемое явление не обусловлено фермиевским движением нуклонов в ядре углерода.

Сечение образования кумулятивных Λ -гиперонов ($Q > 1$) в $\pi^-^{12}\text{C}$ событиях равно $\sigma_{\Lambda_{\text{кум.}}} = 0,69 \pm 0,18$ мб. Доля $\Lambda_{\text{кум.}}$ составляет $15 \pm 1\%$ от всех Λ -гиперонов, образовавшихся в $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с $^{17/}$.

В табл.1 приводятся средние значения кинематических параметров кумулятивных Λ -гиперонов и всех Λ -гиперонов, образовавшихся в $\pi^-^{12}\text{C}$ -событиях.

Видно, что средние значения поперечных импульсов совпадают в пределах ошибок для обеих групп Λ -гиперонов.

Средняя множественность заряженных частиц, сопровождающих образование кумулятивного Λ -гиперона, совпадает в пределах ошибок с $\langle n_{\pm} \rangle$ для всех $\pi^-^{12}\text{C}$ -событий с Λ -гиперонами.

На рис.2 представлено инвариантное сечение, проинтегрированное по $x_{\text{лаб.}}$,

$$F(P_{\perp}^2) = \int \frac{2m E_{\text{лаб.}}}{s \pi} \frac{d^2 \sigma}{dx_{\text{лаб.}} dP_{\perp}^2} dx_{\text{лаб.}} \quad \text{Здесь } x_{\text{лаб.}} =$$

$$= \frac{P_{\perp}^{\text{лаб.}}}{P_{\perp}^{\text{лаб. max}}} = \frac{2m P_{\perp}^{\text{лаб.}}}{s}, \quad m - \text{масса протона, } s - \text{квадрат полной}$$

энергии в с.с.м. ($\pi^- p$). Прямая является результатом аппроксимации экспериментальных точек зависимостью $F(P_{\perp}^2) = A \cdot \exp(-B P_{\perp}^2)$ в интервале $P_{\perp}^2 \leq 1$ ГэВ/с 2 , $A = 12,2 \pm 0,5 \cdot 10^{-2}$ мб/ГэВ/с 2 и $B = 3,5 \pm 0,6$ /ГэВ/с 2 , $\chi^2/N_{\text{ст.св.}} = 0,74$. Величина наклона согласуется с величиной, полученной для всех Λ -гиперонов из $\pi^- \text{C}$ -взаимодействий, $B = 3,7 \pm 0,4$ /ГэВ/с 2 $^{17/}$.

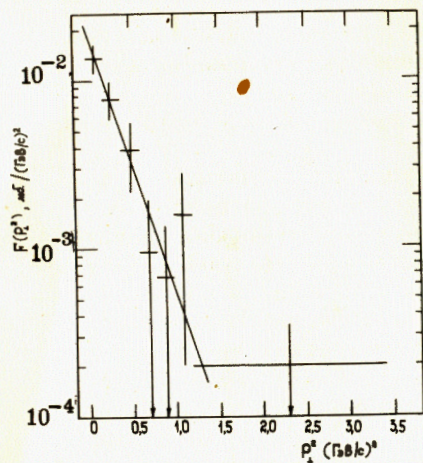


Рис.2. Зависимость инвариантного сечения кумулятивных Λ -гиперонов от квадрата поперечного импульса.

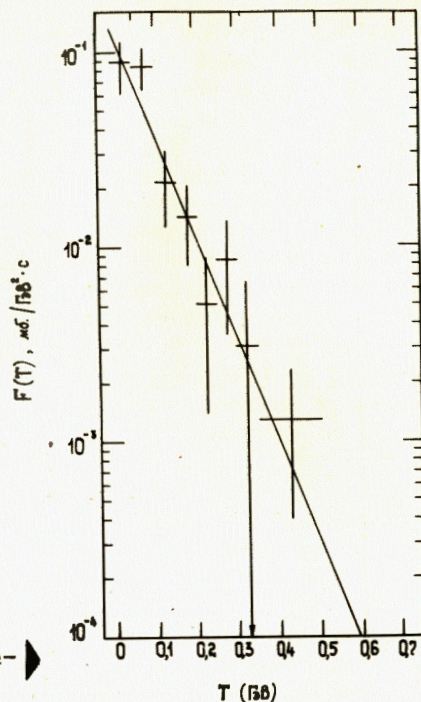


Рис.3. Зависимость инвариантного сечения кумулятивных Λ -гиперонов от кинетической энергии.

Из распределения кумулятивных Λ -гиперонов по быстротам видно, что они являются продуктами фрагментации мишени. Теория кумулятивного образования частиц^{12/} предсказывает, что в этом случае инвариантное сечение будет экспоненциально зависеть от кинетической энергии Λ -гиперонов T_Λ . На рис.3 приводится зависимость

$$F(T) = \int \frac{1}{P_\Lambda} \frac{d^2\sigma}{dT \cdot d\Omega} d\Omega.$$

Аппроксимация функцией $F(T) \sim \exp(-T/T_0)$ показана прямой линией. Параметр T_0 при этом равен $T_0 = 81 \pm 12$ МэВ с $\chi^2/N_{\text{ст.св.}} = 0,86$.

На рис.4 представлено распределение кумулятивных Λ -гиперонов по Q . Оно также имеет экспоненциальный характер. Параметр наклона Q_0 , полученный при аппроксимации этого распределения зависимостью $f(Q) \sim \exp(-Q/Q_0)$, равен $Q_0 = 0,16 \pm 0,03$ с $\chi^2/N_{\text{ст.св.}} = 0,84$.

Представляет интерес сравнение характеристик кумулятивных Λ -гиперонов, полученных в нашей работе, с данными других экспериментов /табл.2/. Можно видеть, что относительный выход кумулятивных Λ -гиперонов из ядра углерода не зависит от энергии

Таблица 2

Реакция	Начальный импульс π^- -мезона, ГэВ/с	$\sigma_{\text{кум}}/\sigma_{\text{инкл}}$, %	T_0 , МэВ	V , /ГэВ/с/ ⁻²	Q_0	Ссылка
$\Pi^+(C, Xe) \rightarrow \Lambda + \dots$	2,9	25 + 30	73 ± 10 + 36 ± 6 $47^\circ < \theta < 180^\circ$			2
$\Pi^+(C, F, Cl) \rightarrow \Lambda + \dots$	3,9		42 ± 7 $48^\circ < \theta$	$5,0 \pm 0,2$		3
$\Pi^+ I^2C \rightarrow \Lambda + \dots$	4,0	~6	56 ± 6 $50^\circ < \theta < 180^\circ$		$0,23 \pm 0,02$	4
$I_2C \rightarrow \Lambda + \dots$	7,0	$5,1 \pm 0,4$	90 ± 9 $50^\circ < \theta < 180^\circ$			4
$\Pi^+ I^2C \rightarrow \Lambda + \dots$	40	$5,1 \pm 1$	81 ± 12 $Q > I$ $36^\circ < \theta < 145^\circ$		$0,16 \pm 0,03$	Эта работа
$\Pi^+ I^2C \rightarrow P + \dots$	40	$7,3 \pm 0,4$ ($P_p > 0,3$ ГэВ/с) $11,9 \pm 0,9$ ($P_p > 0,2$ ГэВ/с)	39 ± 5 $120^\circ < \theta < 180^\circ$ ($P_p > 0,2$ ГэВ/с)			I3

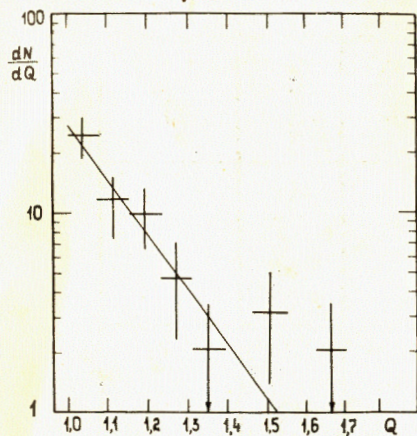


Рис.4. Распределение кумулятивных Λ -гиперонов по Q .

импульсах первичных π^- -мезонов /3-4 ГэВ/с/ и совпадает с T_0 для ν C-взаимодействий при $\langle P_n \rangle = 7$ ГэВ/с. Рост T_0 с импульсом налетающей частицы наблюдался для пионов, рождающихся под углом 180° при взаимодействии дейтронов с углеродом, вплоть до 6 ГэВ/с на нуклон /см.¹⁹/, рис.14/. Величина T_0 для кумулятивных протонов при 40 ГэВ/с примерно вдвое ниже, чем для кумулятивных Λ -гиперонов. Возможно, это обусловлено тем, что протоны имеют-ся в ядрах в "готовом" виде, а Λ -частицы должны родиться.

В заключение выражаем благодарность В.Г.Гришину, В.С.Ставинскому, Ю.М.Шабельскому за полезные обсуждения, Т.Гадзицкому за расчеты по методу Монте-Карло и Т.Канареку за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. Краткие сообщения по физике. Изд-во АН СССР, 1971, № 1, с.35.
2. Воробьев И.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1975, 22, с.390; Лексин Г.А., Смирнитский А.В. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, с.97; Лексин Г.А., Смирнитский А.В. Препринт ИТЭФ-121, 1981; Лексин Г.А., Смирнитский А.В. Препринт ИТЭФ-153, 1978.
3. Горнов М.Г. и др. ЯФ, 1978, 27, с.1578.
4. Темников П.П., Тимонина А.А., Шахбазян Б.А. ОИЯИ, P1-12138, Дубна, 1978; Shahbazian V.A. et al. JINR, E1-11519, Dubna, 1978; Темников П.П. и др. ОИЯИ, P1-12684, Дубна, 1979.
5. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, 1-6326, Дубна, 1970.

и от природы налетающей частицы в диапазоне от 4 до 40 ГэВ. Если считать, что выход $\Lambda_{\text{кум.}}$ пропорционален атомному номеру ядра-мишени, то из данных работы¹² можно сделать вывод, что и при 2,9 ГэВ/с на углероде $\sigma_{\Lambda_{\text{кум.}}/\sigma_{\text{инкл.}}} \approx 5\%$. Выход кумулятивных протонов на ядро углерода при 40 ГэВ/с несколько выше, чем выход кумулятивных Λ -гиперонов.

Параметр T_0 , как указано в¹², сильно зависит от угла вылета $\Lambda_{\text{кум.}}$, поэтому трудно сравнивать данные при разных энергиях. При импульсах 2,9-4 ГэВ/с величины T_0 в разных экспериментах согласуются между собой в пределах ошибок. Величина T_0 при 40 ГэВ/с превышает T_0 при более низких

6. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, P1-7267, Дубна, 1973; ЯФ, 1973, 18, с.1251; Nucl.Phys., 1974, B79, p.57.
7. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-9648, Дубна, 1976; ЯФ, 1977, 25, с.350; Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-9209, Дубна, 1975; ЯФ, 1976, 24, с.732.
8. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-81-05, Дубна, 1981; ЯФ, 1981, 34, с.1234.
9. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып.5, с.949.
10. Джмухадзе С.В. и др. ОИЯИ, P1-9675, Дубна, 1976; ЯФ, 1977, 25, с.103.
11. Джмухадзе С.В. и др. ОИЯИ, P1-80-849, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, 34, с.1245.
12. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 1977, т.8, вып.3, с.429.
13. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-8566, Дубна, 1975; ЯФ, 1975, 22, с.1026; Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-12108, Дубна, 1979; ЯФ, 1979, 29, с.1227.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 апреля 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Кладницкая Е.Н., Попова В.М. P1-83-229
Образование кумулятивных Λ -гиперонов
в π^-C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с

В работе представлены результаты исследования кумулятивного образования Λ -гиперонов в π^-C -взаимодействиях при импульсе π^- -мезона 40 ГэВ/с. Получено сечение рождения кумулятивных Λ -гиперонов $\sigma^{\Lambda}_{\text{кум.}} = 0,69 \pm 0,18$ мб. Доля $\Lambda_{\text{кум.}}$ составляет $5 \pm 1\%$ от всех Λ -гиперонов, образовавшихся в π^-C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с. Приводятся средние значения кинематических параметров Λ -гиперонов, распределение их по кумулятивному числу, зависимости инвариантных сечений от кинетической энергии и поперечного импульса кумулятивных Λ -гиперонов. Полученные результаты сравниваются с данными других работ при различных энергиях первичной частицы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Kladnitskaya E.N., Popova V.M. P1-83-229
Cumulative Λ -Production in π^-C Interactions
at 40 GeV/c

The results on cumulative Λ -production in π^-C interactions at 40 GeV/c are presented. The cross section for cumulative Λ -production, $\sigma^{\Lambda}_{\text{cum}}$ equals 0.69 ± 0.18 mb, or $5 \pm 1\%$ of all Λ 's produced. Invariant cross section dependence on kinetic energy and transverse momentum of cumulative Λ -hyperons is studied, cumulative number distribution and average kinematical parameters are determined. Results are compared with the existing data on cumulative Λ -production at different energies and for different incident particles.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.