

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

P1-84-279

К.Йовчев, Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая,
В.М.Попова, А.П.Чеплаков

**ХАРАКТЕРИСТИКИ Σ^+ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
С ОБРАЗОВАНИЕМ Λ -ГИПЕРОНОВ
И K^0 -МЕЗОНОВ ПРИ 4,2 ГэВ/с на нуклон**

Направлено в журнал "Ядерная физика"
и в Оргкомитеты XXII Международной конференции
по физике высоких энергий /Лейпциг, 1984/
и конференции "Частицы и ядра"
/Гейдельберг, 1984/

1984

ВВЕДЕНИЕ

Как протекают в пространстве и времени процессы ядро-ядерных взаимодействий с рождением странных частиц, каковы особенности этих взаимодействий по сравнению со всеми неупругими столкновениями ядро-ядро? Ответы на эти вопросы представляют значительный интерес и важны для понимания механизма образования странных частиц в ядерных взаимодействиях.

Реакции с рождением странных частиц исследовались в экспериментах на синхрофазотроне в Дубне и бэвалаке /США/. К настоящему времени получены данные по рождению Λ -гиперонов в центральных $Ag + KCl$ -взаимодействиях при импульсе 2,6 ГэВ/с на нуклон /1/ и в центральных столкновениях легких ядер (C, O) с различными ядрами / C, Ne, Cu, Zr, Pb/ при 4,5 ГэВ/с на нуклон /2/. Исследовалось также образование Λ - и K^0 -частиц в ${}^4\text{He} \text{ } {}^6\text{Li}$ /3/ /4,5 ГэВ/с.нукл./, STa - и dTa -взаимодействиях /4,2 ГэВ/с /4/, K^+ -мезонов в столкновениях ядер дейтерия и Ne с мишенями из NaF и свинца /5/. Сечения образования Λ -гиперонов и K^0 -мезонов в CC -взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с.нукл. получены в /8/.

Настоящая работа является продолжением исследования STa -взаимодействий с образованием Λ -гиперонов и K^0 -мезонов /4/.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Для анализа использованы STa -события, найденные при просмотре стереоснимков с 2-метровой пропановой камеры ОИЯИ с тремя танталовыми пластинками внутри рабочего объема /7/. Камера, помещенная в магнитное поле напряженностью 1,5 Т, экспонировалась в пучке ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. После измерений и обсчета по программе ГЕОФИТ критериям отбора удовлетворяли 54 Λ -гиперона и 22 K^0 -мезона из STa -взаимодействий. В качестве критериев отбора использовались следующие условия:

- 1/ χ^2 -вероятность больше 1% для гипотез Λ и K^0 ;
- 2/ координаты точек распада V^0 -событий находятся в эффективном объеме камеры /8/.

Неоднозначно идентифицированные Λ - K^0 -частицы отнесены к Λ или K^0 по большей χ^2 -вероятности.

Для определения полного числа Λ - и K^0 -частиц, образовавшихся в STa -взаимодействиях, вводились следующие поправки: на

вероятность регистрации Λ и K^0 в эффективном объеме камеры, на потери V^0 вблизи точки взаимодействия ядра углерода с танталом и в направлении ко дну камеры, на потери Λ и K^0 с медленными продуктами распада / $P_{\pi^-} < 70$ МэВ/с и $P_p < 150$ МэВ/с/, на нейтральную моду распада Λ^- и K^0 -частиц. При расчете вероятностей регистрации для каждого Λ -гиперона / K^0 -мезона/ исключалась цилиндрическая область с $R = 1,5/2/$ см от точки взаимодействия по всей высоте эффективной области, где имеют место потери V^0 из-за перепутывания следов от распада $\Lambda(K^0)$ со следами от звезды. Для $R > 1,5/2/$ см сумма весов $K^0(\Lambda)$ -частиц в пределах ошибок не меняется. Число Λ и K^0 со всеми поправками ($N_{V^0}^{tot}$) приведено в табл.1.

Таблица 1

Средние множественности и инклюзивные сечения Λ -гиперонов и K^0 -мезонов в STa -взаимодействиях

N_{V^0}	N_{V^0} ($R > R_0$)	$\Sigma W_{V^0}^{geom}$ ($R > R_0$)	$N_{V^0}^{tot}$	$\langle n_{V^0} \rangle$	σ_{V^0} (мб)	
$STa \rightarrow \Lambda + \dots$	54	45	79 \pm 12	152 \pm 24	0,063 \pm 0,010	217 \pm 35
$STa \rightarrow K^0 + \dots$	22	22	33 \pm 7	63 \pm 15	0,025 \pm 0,006	86 \pm 21

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ STa -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ С РОЖДЕНИЕМ Λ -ГИПЕРОНОВ И K^0 -МЕЗОНОВ

В нашей предыдущей работе /4/ отмечалось, что в STa -взаимодействиях с рождением Λ -гиперонов образуется в среднем больше заряженных частиц, в том числе и π^- -мезонов, чем во всех неупругих STa -событиях /9/. Анализ STa -взаимодействий с нейтральными странными частицами показал, что выделенными в смысле множественности заряженных частиц оказались не только события с Λ -гиперонами, но и с K^0 -мезонами /см. табл.2/. Это вполне понятно, если учесть, что основным источником образования K^0 -мезонов при наших энергиях служит парное рождение $\Lambda(\Sigma)$ - и K^0 -частиц, а не $K^0\bar{K}^0$ -пар, которое характерно для высоких энергий /10/.

Образование Λ -гиперонов и K^0 -мезонов сопровождается и большей множественностью π^- -мезонов по сравнению с неупругими взаимодействиями тех же ядер /см. табл.2/. Соотношение между средними множественностями π^0 -мезонов в рассматриваемых группах STa -событий /см. табл.2/ указывает /ошибки велики/ на то, что, по-видимому, выход π^0 -мезонов тоже в среднем больше в событиях с Λ - и K^0 -частицами.

Таблица 2

Множественности вторичных частиц в СТа-взаимодействиях

	СТа → Λ + ...	СТа → К ⁰ + ...	СТа → все
$\langle n_{\pi^-} \rangle^*$	34,0 _{+2,3}	30 ₊₄	21,2 _{+0,6} ^{/9/}
$\langle n_{-} \rangle$	4,9 _{+0,6}	4,3 _{+0,7}	3,4 _{+0,2} ^{/15/}
$\langle n_{\pi^0} \rangle$	5,3 _{+0,8}	4,6 _{+0,9}	3,7 _{+0,3} ^{/16/}
$\langle Z_{str} \rangle$	1,3 _{+0,2}	1,3 _{+0,3}	2,7 _{+0,1}
$\langle \nu \rangle$	9,5 _{+0,5}	9,4 _{+0,6}	6,6 _{+0,3} ^{/11/}

* Без протонов и фрагментов с P/A < 200 МэВ/с.

Естественно предположить, что увеличение множественности вторичных частиц в событиях с рождением Λ и К⁰ может быть объяснено тем, что в этих событиях в среднем больше нуклонов (ν) из налетающего ядра углерода взаимодействует с ядром тантала по сравнению со всеми неупругими СТа-событиями. Образование АК-пар в нуклон-нуклонных взаимодействиях - явление редкое, а потому вероятность наблюдать его в ядро-ядерных взаимодействиях повышается с увеличением числа нуклонов налетающего ядра, участвующих во взаимодействии.

Среднее число нуклонов ⟨ν⟩ ядра углерода, провзаимодействовавших с танталовой мишенью, определялось по среднему заряду стриппинговых фрагментов, т.е. фрагментов, не принимавших участия во взаимодействии. Для симметричного ядра углерода ⟨ν⟩ = 2⟨ν_p⟩, а ⟨ν_p⟩ = ν - ⟨Z_{str}⟩. Здесь ⟨ν_p⟩ - среднее число протонов, провзаимодействовавших с мишенью.

Стриппинговыми считались фрагменты с P/Z > 3 ГэВ/с и θ_{лаб.} < 4°^{11/}. Полученные значения ⟨ν⟩ Λ, К⁰ приведены в табл.2, они примерно в 1,5 раза превышают ⟨ν⟩ для всех неупругих СТа-столкновений. Этот результат наглядно объясняет увеличение выхода вторичных частиц в событиях с Λ-гиперонами и К⁰-мезонами.

Следует отметить, что в половине СТа-событий с рождением Λ и К⁰ нет заряженных стриппинговых фрагментов, тогда как среди всех неупругих взаимодействий тех же ядер такие события /с Z_{str} = 0/ составляют /26±1%.

В работе^{12/} на основе модели многократного рассеяния получена связь между зарядом стриппинговых фрагментов и величиной среднего прицельного параметра для разных пар сталкивающихся ядер. В частности, для СТа-взаимодействий с Z_{str} = 0 средний прицельный параметр ⟨b⟩ = 3,7 фм, тогда как для тех же взаимодействий с Z_{str} = Z_A ⟨b⟩ = 9,0 фм. Поскольку в столкновениях

ядер углерода с танталом, сопровождающихся рождением Λ-гиперонов и К⁰-мезонов, ⟨Z_{str}⟩ меньше, чем во всех СТа-событиях /см. табл.2/, можно сделать вывод, что странные частицы в основном рождаются в более центральных взаимодействиях ядер ⟨b⟩_{СТа}^{Λ, К⁰} < ⟨b⟩_{СТа}ⁱⁿ).

Существует ряд предсказаний^{13,14/} об увеличении выхода странных частиц по отношению к обычным частицам в столкновениях релятивистских ядер, если имеет место фазовый переход адронного вещества в кварк-глюонную плазму. С большей вероятностью такие переходы ожидаются при центральных столкновениях тяжелых ядер.

В центральных взаимодействиях легких ядер (С, О) с ядрами меди, циркония и свинца увеличение относительного выхода Λ-гиперонов и К⁰-мезонов не обнаружено^{12/}.

В нашем эксперименте определены средние множественности Λ-гиперонов и К⁰-мезонов и их инклюзивные сечения в СТа-взаимодействиях /см. табл.1/. Используя полученные ранее данные по выходу π⁻-мезонов в СТа-столкновениях^{15/} /см. табл.2/, получили

$$R_{\Lambda}^{СТа} = \frac{\langle n_{\Lambda} \rangle}{\langle n_{-} \rangle} = (1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}, \quad R_{K^0}^{СТа} = \frac{\langle n_{K^0} \rangle}{\langle n_{-} \rangle} = (0,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}.$$

Эти отношения находятся в хорошем согласии с соответствующими отношениями для столкновений легких ядер (α + ⁶Li) при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон^{17/}. R_Λ^{αLi} = /1,9_{+0,6/} · 10⁻² и R_{K⁰}^{αLi} = /0,65_{+0,35/} · 10⁻². Таким образом, не наблюдается увеличения выхода странных частиц во взаимодействиях С + Та по сравнению с взаимодействиями легких ядер. На таком же уровне сохраняются значения R_Λ(K⁰) и для центральных СТа-столкновений. Экспериментальные отношения согласуются с расчетами, выполненными в^{18/} по модели фэйрстрик^{19,20/}.

3. ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Λ-ГИПЕРОНОВ И К⁰-МЕЗОНОВ ИЗ СТа-ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Представляют интерес распределения Λ и К⁰ по кинематическим переменным P_{лаб.}, P_⊥, y, cos θ_{NN}^{*}. По этим распределениям можно видеть, какие области фазового пространства ответственны за их образование, а следовательно, судить о механизме образования этих частиц.

Распределение Λ-гиперонов по продольной скорости /рис.1/ показывает, что большая часть Λ имеет скорости меньше величины у_{лаб.} = 1,1, соответствующей скорости системы центра масс нуклон-нуклон. Из двумерного (P_⊥ - у_{лаб.}) распределения Λ-гиперонов /рис.2/ видно, что около 40% Λ выходят за кинематическую границу реакции NN → NΛK при 4,2 ГэВ/с на свободном нуклоне, а ≈ 20% - за границу области для этой реакции с учетом ферми-

Рис.1. Распределение Λ -гиперонов по продольной быстрой.

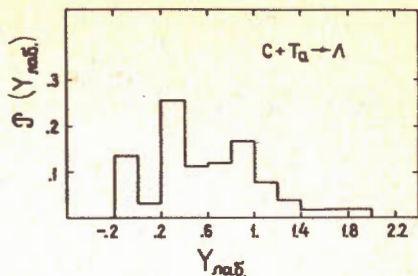


Рис.2. Двумерное распределение Λ -гиперонов по переменным P_{\perp}^{Λ} , $Y_{\text{лаб}}$. Сплошная кривая - граница кинематически разрешенной области для Λ из реакции $NN \rightarrow N\Lambda K$. Пунктирная кривая - граница области с учетом ферми-движения нуклонов в ядрах.

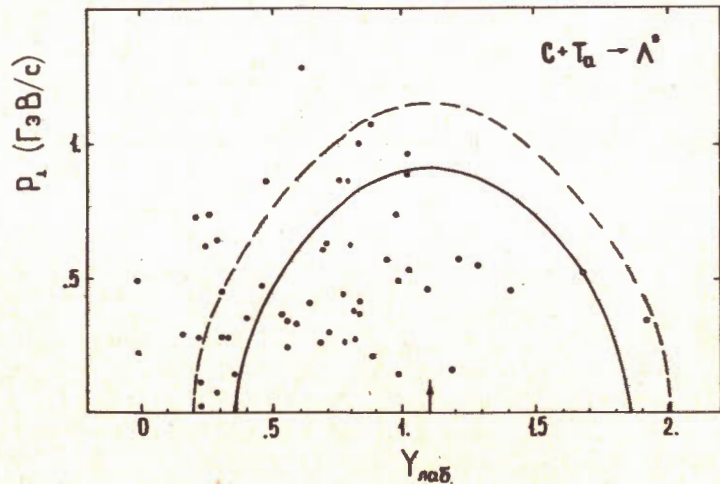
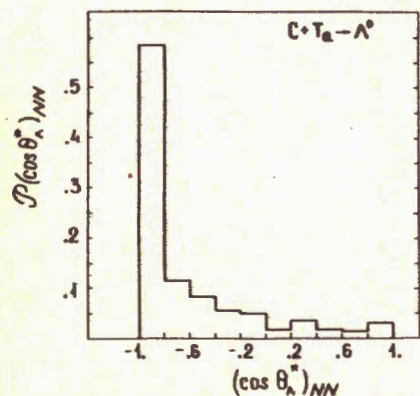


Рис.3. Угловое распределение Λ -гиперонов в с.ц.и. нуклон-нуклон.



движения нуклонов в ядрах ^{14/}. Угловое распределение Λ -гиперонов в с.ц.м. NN /рис.3/ явно асимметрично в отличие от ожидаемой симметрии распределения для случая образования Λ в первичных нуклон-нуклонных взаимодействиях. Все это указывает на существенную роль вторичных процессов в ядре тантала. К ним можно отнести как перерассеяние Λ -гиперонов, так и образование ΛK -пар вторичными пионами. Оценки показывают, что вклад реакций типа $\pi N \rightarrow \Lambda K$ в общий выход странных частиц из CTa -взаимодействий при 4,2 ГэВ/с на нуклон может быть сравним с вкладом первичных $NN \rightarrow N\Lambda K$ -реак-

ций. Так, доля пионов всех знаков с $P_{\text{лаб}} \geq 1$ ГэВ/с, которые с $\sigma = 0,5-1$ мб могут образовать $\Lambda K(\Sigma^0 K)$ -пары в πN -столкновениях, составляет $\approx 10\%$, т.е. в среднем на одно CTa -событие приходится примерно один такой пион. Как уже отмечалось, в CTa -взаимодействиях с рождением Λ и K^0 в среднем участвуют 9-10 нуклонов, а сечение реакции $NN \rightarrow N\Lambda K$ равно $\approx 0,1$ мб ^{21/}.

Рис.4. Распределение Λ -гиперонов по поперечному импульсу.

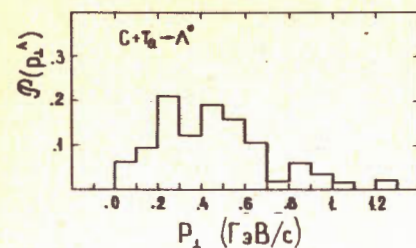
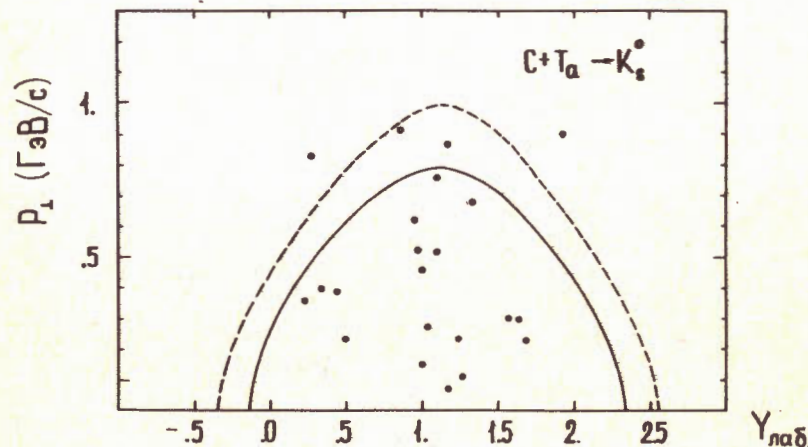


Рис.5. Двумерное распределение K_s^0 -мезонов по переменным $P_{\perp}^{K_s^0}$, $Y_{\text{лаб}}$. Сплошная кривая - граница кинематически разрешенной области для K_s^0 из реакции $NN \rightarrow N\Lambda K^0$. Пунктирная кривая - граница области с учетом ферми-движения нуклонов в ядрах.



Распределения Λ гиперонов по P_{\perp} показаны на рис.4. Двумерное распределение (P_{\perp} - $Y_{\text{лаб}}$) для K_s^0 -мезонов /рис.5/ показывает, что большинство K_s^0 -мезонов $\approx 90\%$ имеют поперечные импульсы и скорости в границах кинематики реакции $NN \rightarrow N\Lambda K^0$ с учетом ферми-движения нуклонов в ядрах углерода и тантала. Распределение K_s^0 -мезонов по $Y_{\text{лаб}}$ имеет максимум при $Y_{\text{лаб}} \approx Y_{NN}^{\text{с.ц.м.}} = 1,1$ /рис.6/.

Угловое распределение K_s^0 в с.ц.м. нуклон-нуклон близко к изотропному / $\langle \cos \theta_{K_s^0}^* \rangle = 0,14 \pm 0,10$ /, наблюдавшемуся для K^+ -мезонов в реакции $pp \rightarrow p\Lambda K^+$ при $P_p = 3,67$ ГэВ/с ^{21/}. Возможно, перерассеяние K_s^0 -мезонов в меньшей степени искажает их первичное распределение по сравнению с Λ -гиперонами благодаря тому,

Рис.6. Распределение K_s^0 -мезонов по продольной быстрой в лаб. системе.

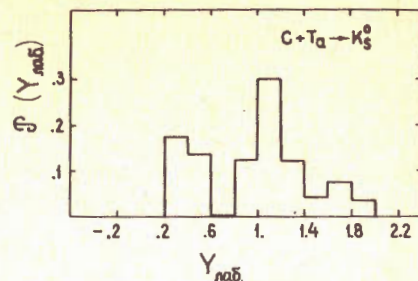


Таблица 3

Средние значения кинематических переменных для Λ - и K_s^0 -частиц

	Λ	K_s^0
$\langle P_{\text{лаб}} \rangle$ ГэВ/с	$1,03 \pm 0,12$	$1,01 \pm 0,14$
$\langle P_{\perp} \rangle$ ГэВ/с	$0,43 \pm 0,05$	$0,44 \pm 0,06$
$\langle P_{\perp}^2 \rangle$ (ГэВ/с) ²	$0,26 \pm 0,06$	$0,26 \pm 0,06$
$\langle y \rangle_{\text{лаб.}}$	$0,59 \pm 0,07$	$0,95 \pm 0,10$
$\langle \cos \theta^* \rangle_{NN}$	$-0,64 \pm 0,05$	$-0,14 \pm 0,10$

что $\sigma_{KN} < \sigma_{\Lambda N}$. Средние значения кинематических переменных для Λ и K_s^0 приведены в табл.3. Обращает на себя внимание совпадение средних значений импульсов Λ и K_s^0 .

Нами рассмотрены также распределения инвариантных сечений Λ , K_s^0 и π^- -частиц по кинетической энергии: для K_s^0 -мезонов - в с.ц.м. NN, а для Λ и π^- - в системе, движущейся с $u_{\text{лаб.}} = \langle u_{\text{лаб.}} \rangle = 0,6$. Все эти распределения хорошо аппроксимируются экспоненциальной функцией $\propto \exp(-T/T_0)$.

Для параметров T_0 получили следующие значения $T_0^{K_s^0} = 145 \pm 40$ МэВ, $T_0^{\Lambda} = 133 \pm 23$ МэВ и $T_0^{\pi^-} = 115 \pm 3$ МэВ. Приведенные значения параметров $T_0^{K_s^0}$ и $T_0^{\pi^-}$ не противоречат соотношению $T_0^{K^+} > T_0^{\pi^-}$, полученному для K^+ и π^- -мезонов во взаимодействиях $Ne + NaF$ для первичной энергии 2,1 ГэВ на нуклон¹⁵ и зависимости $T_0^{\pi^{\pm}, K}$ от первичной энергии на нуклон, представленной в [22, 23].

*Для получения распределения по T^{π^-} использовались только π^- -мезоны, вылетающие под углом $/90 \pm 30/^\circ$ в выбранной системе относительно направления сталкивающихся ядер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В Sta -взаимодействиях при 4.2 ГэВ/с на нуклон. Λ -гипероны и K^0 -мезоны с большей вероятностью образуются в многонуклонных столкновениях. Этим объясняется повышенная λ -в 1,5 раза/множественность вторичных частиц в событиях с Λ и K^0 по сравнению с неупругими взаимодействиями тех же ядер.

2. В столкновениях ядер углерода с ядром Ta в пределах ошибок не наблюдается увеличения выхода странных частиц относительно выхода π^- -мезонов по сравнению с R_{Λ} и R_{K^0} для взаимодействий легких ядер ($\alpha + {}^6Li$) при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон.

3. Угловое распределение Λ -гиперонов в с.ц.и. нуклон-нуклон и распределение их по быстрой указывают на существенную роль вторичных процессов в сталкивающихся ядрах.

Авторы выражают благодарность участникам сотрудничества из ОИЯИ и ЦИФ /Бухарест/ за участие в обработке экспериментального материала, М.Газдзицкому - за полезные обсуждения, лаборантам - за просмотр пленок и измерения событий.

ЛИТЕРАТУРА

- Harris I.W. et al. Phys.Rev.Lett., 1981, vol.47, p.229.
- Anikina M. et al. JINR, E1-83-521, Dubna, 1983; Phys. Rev.Lett., 1983, vol.50, p.1971.
- Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, P1-82-333, Дубна, 1982.
- Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, D1-82-445, Дубна, 1982; ЯФ, 1983, т.37, с.124.
- Schnitzer S. et al. Phys.Rev.Lett., 1982, vol.49, p.989.
- Аракелян С.Г. и др. ОИЯИ, P1-83-354, Дубна, 1983.
- Ангелов Н. и др. ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.
- Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, 1-6967, Дубна, 1973.
- Ахабабян Н. и др. ЯФ, 1983, т.38, с.152.
- Кладницкая Е.Н. ЭЧАЯ, 1982, т.13, вып.3, с.669.
- Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-80-473, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, т.33, с.1046.
- Гаспарян А.П. и др. ЯФ, 1981, т.34, с.1328.
- Hagedorn R. Workshop of Future Relativistic Heavy Ion Experiments. Darmstadt, October 7-10, 1980, p.236.
- Rafelski J. ibid, p.282.
- Agakishiev H.N. Z.Phys.C, 1982, vol.12, p.283; Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, 1-83-22, Дубна, 1983.
- Гулканян Г.Р. и др. ОИЯИ, P1-83-805, Дубна, 1983.

17. Anikina M. et al. Proc. of the 6th Balaton Conference on Nucl.Phys., 1983, p.433.
18. Гудима К.К., Тонеев В.Д. ОИЯИ, P2-83-199, Дубна, 1983.
19. Myers W.D. Nucl.Phys., 1978, A296, p.177.
20. Gosset J. et al. Phys.Rev., 1978, C18, p.844.
21. Louttit R.I. et al. Phys.Rev., 1961, vol.123. p.1465.
22. Wolf K.L. Workshop of Future Relativistic Heavy Ion Experiments. Darmstadt, 1980, p.23.
23. Nagamiya S. Proc. of the 6th Balaton Conf. on Nucl.Phys., 1983, p.329.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 апреля 1984 года.

Йовчев К. и др.

P1-84-279

Характеристики Σ Та-взаимодействий с образованием Λ -гиперонов и K^0 -мезонов при 4,2 ГэВ/с на нуклон

Анализировались Σ Та-взаимодействия при 4,2 ГэВ/с на нуклон с образованием Λ - и K^0 -частиц. В этих событиях наблюдается в среднем большая множественность заряженных частиц, чем во всех неупругих Σ Та-событиях: $\langle n_{\pm} \rangle_{\Lambda, K^0} \approx 1,5 \langle n_{\pm} \rangle_{\Sigma Ta}^{in}$. Увеличение $\langle n_{\pm} \rangle$ в Σ Та-событиях с $\sqrt{s_{\Sigma Ta}}$ обусловлено тем, что в них в среднем в 1,5 раза больше нуклонов из налетающего ядра углерода взаимодействует с ядром тантала. Не обнаружено существенного увеличения выхода странных частиц относительно выхода π^- -мезонов по сравнению с соответствующими отношениями для нуклон-нуклонных взаимодействий. Приводятся распределения Λ - и K^0 -частиц по U_{lab} и P_{\perp} .

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Iovchev K. et al.

P1-84-279

Properties of Σ Та Interactions with Λ -Hyperon and K^0 -Meson Production at 4.2 GeV/c per Nucleon

Σ Та interactions with Λ and K^0 production at 4.2 GeV/c per nucleon were studied. The average multiplicity of charged particles for these events is higher than for all inelastic Σ Та events: $\langle n_{\pm} \rangle_{\Lambda, K^0} \approx 1.5 \langle n_{\pm} \rangle_{\Sigma Ta}^{in}$. The increase of $\langle n_{\pm} \rangle$ in Σ Та events may be explained by increasing by a factor of 1.5 the number of nucleons from the projectile nucleus which interact with the Та nucleus. No substantial increase of strange particle yields relative to those of π^- mesons as compared to nucleon-nucleon interactions is observed. Rapidity and momentum distributions for Λ - and K^0 -particles are presented.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984