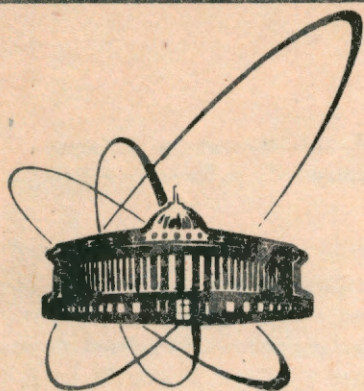


91-394



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-91-394

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРОВ И СЕЧЕНИЙ ВЫХОДА
 π^- -МЕЗОНОВ ПРИ ФИКСИРОВАННЫХ УГЛАХ
ОТ АТОМНЫХ ВЕСОВ СТАЛКИВАЮЩИХСЯ ЯДЕР
В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1991

Г.Н.Агакишиев, С.Бацкович¹, В.Болдеа², С.Дица², И.А.Ивановская, Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая, Д.Крпич³, Р.Р.Мехтиев⁴, Д.Салихагич¹, А.Симич⁵, Р.Тогоо, Г.П.Тонеева⁶, А.П.Чеплаков

ВВЕДЕНИЕ

В работе анализируются спектры π^- -мезонов по кинетической энергии (Т) в лаб. системе в угловом интервале от 0° до 180° во взаимодействиях дейтронов, ядер гелия-4 и углерода с танталовой мишенью при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Ранее¹¹ подобный анализ был проведен нами для спектров отрицательных пионов из рС-, dС-, α С- и СС-соударений при той же первичной энергии ядер, и показано, что форма спектров π^- -мезонов не зависит от атомного веса ядра-снаряда в интервале углов $\theta \geq 20^\circ$.

Теперь мы имеем возможность исследовать не только зависимость формы спектров π^- -мезонов, вылетающих под фиксированными углами, от атомного веса первичного ядра при взаимодействии легких ядер с тяжелой мишенью, но и выявить влияние атомного веса ядра-мишени на спектры пионов путем сравнения параметров, характеризующих распределения π^- -мезонов во взаимодействиях легких ядер с ядрами углерода и тантала в широком интервале углов.

Исследование инклюзивных спектров π^- -мезонов^{12,3} показало их зависимость от типа ядра-мишени. Так, спектры π^- -мезонов из dТа-, α Та- и Ста-взаимодействий значительно мягче ($\langle p_{\text{л.с.}}^{\pi^-} \rangle_{\text{Ста}} = (0,48 \pm 0,01)$ ГэВ/с)¹³, чем из dС-, α С- и СС-соударений ($\langle p_{\text{л.с.}}^{\pi^-} \rangle_{\text{СС}} = (0,62 \pm 0,03)$ ГэВ/с)¹². Вместе с тем в ряде работ¹⁴⁻⁸ отмечалось, что атомный вес ядра-мишени практически не сказывается на форме спектров π^- -мезонов, вылетающих под углами $\theta > 90^\circ$ в лаб. системе в протон- и дейтрон-ядерных взаимодействиях.

Кроме зависимости формы спектров π^- -мезонов от атомных весов сталкивающихся ядер, в работе исследуется влияние атомных весов первичных ядер и ядер-мишеней на сечения выхода пионов под фиксированными углами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Использованы стереофотографии, полученные при облучении двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ пучками дейтронов, α -частиц и ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Мишенью служили 3 пластинки из тантала толщиной 1 мм, расположенные в рабочем объеме камеры на расстоянии 93 мм друг от друга.

Статистика событий и средние множественности π^- -мезонов приведены в табл.1. Поправки на поглощение π^- -мезонов в Та пластинке и потерю пионов, вылетевших под большими углами к плоскости фотографирования, вводились

¹ Естественно-математический факультет Университета им.В.Влаховича, Титоград, Югославия

² Центральный институт физики, Бухарест

³ Природно-математический факультет Белградского университета

⁴ Институт физики АН АзССР, Баку

⁵ Институт физики, Белград

⁶ Филиал Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ, Дубна

Таблица 1. Статистика событий и средние множественности π^- -мезонов

Тип событий	dTa	α Ta	CTa
$N_{\text{соб.}}$	1475	1149	1823
$\langle n \rangle$	$0,94 \pm 0,04$	$1,55 \pm 0,05$	$3,52 \pm 0,10$

так же, как в работе¹³. Подробное описание процедуры введения поправок и их величины можно найти в¹⁹. Суммарные поправки к числу π^- -мезонов составляют ~18% для dTa, ~15% для α Ta- и 13% для CTa-соударений.

СПЕКТРЫ π^- -МЕЗОНОВ

Инвариантные сечения выхода π^- -мезонов для dTa-, α Ta- и CTa-взаимодействий в зависимости от кинетической энергии пионов в л.б. системе для различных угловых интервалов показаны на рис.1-8. Видно, что спектры пионов с $T > 0,1$ ГэВ для всех рассматриваемых типов соударений и во всех угловых интервалах, кроме $\theta < 10^\circ$, экспоненциально спадают с ростом T. По мере возрастания углов (θ) наклон спектров увеличивается, т.е. спектры π^- -мезонов становятся более мягкими. Аппроксимация инвариантных сечений функцией вида

$$\sigma_{\text{инв.}} = A e^{-T/T_0(\theta)} \quad (1)$$

дала значения параметров T_0 , приведенные в табл.2. Там же указаны интервалы T, в пределах которых проводилась аппроксимация и значения χ^2 на степень свободы. Из табл.2 видно, что параметры T_0 для всех типов взаимодействий в каждом угловом интервале выше 20° совпадают между собой в пределах 5-10% экспериментальных погрешностей. Этот результат позволяет сделать вывод о независимости формы спектров π^- -мезонов в угловом интервале $\theta > 20^\circ$ от атомного веса ядра-снаряда в dTa-, α Ta- и CTa-взаимодействиях. Ранее аналогичный вывод был сделан для спектров π^- -мезонов из pC-, dC-, α C- и CC-соударений¹¹.

Угловая зависимость параметров T_0 для изучаемых типов взаимодействий показана на рис.9. Значения T_0 быстро убывают от ~260 МэВ до ~70 МэВ при увеличении θ от 20° до 110° и слабо зависят от угла в интервале $\theta > 110^\circ$. Слабая зависимость T_0 от θ в этом угловом интервале отмечалась ранее для спектров пионов из pC-, dC-, α C- и CC-взаимодействий при 4,2 ГэВ/с^{11,10}, а также следует из сопоставления параметров $T_0^{\pi^-}$ ($\theta > 110^\circ$), полученных в протон-ядерных взаимодействиях в широком интервале энергий^{14-8,11-13}.

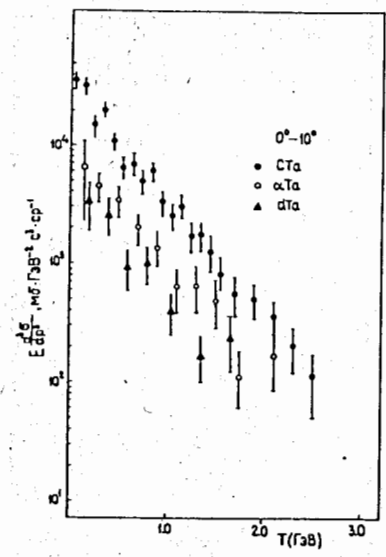


Рис.1

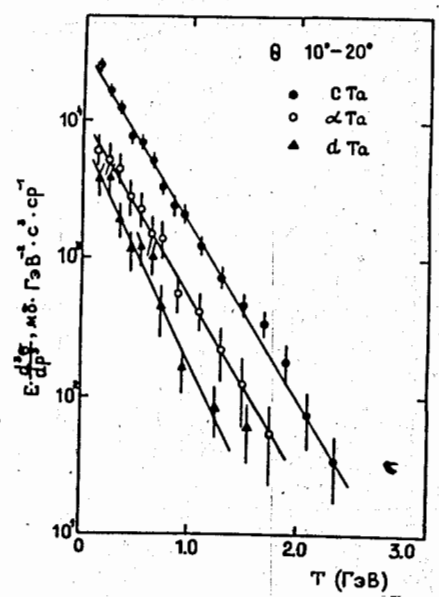


Рис.2

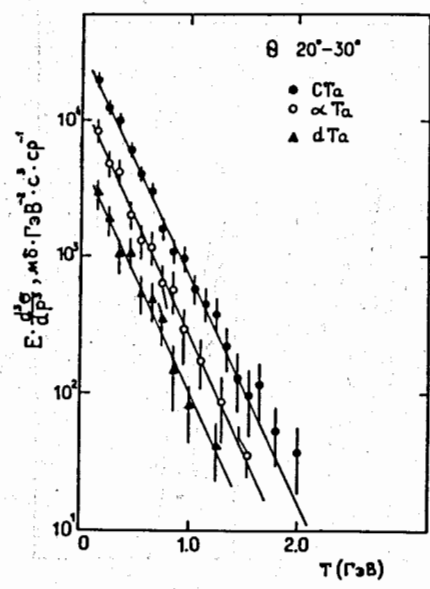


Рис.3

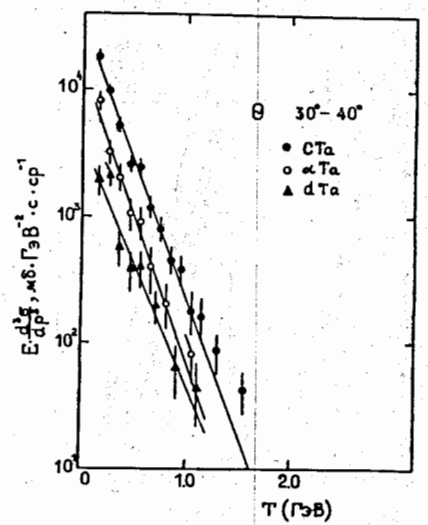


Рис.4

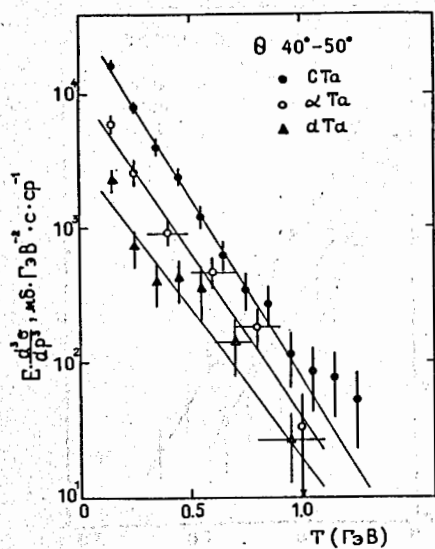


Рис.5

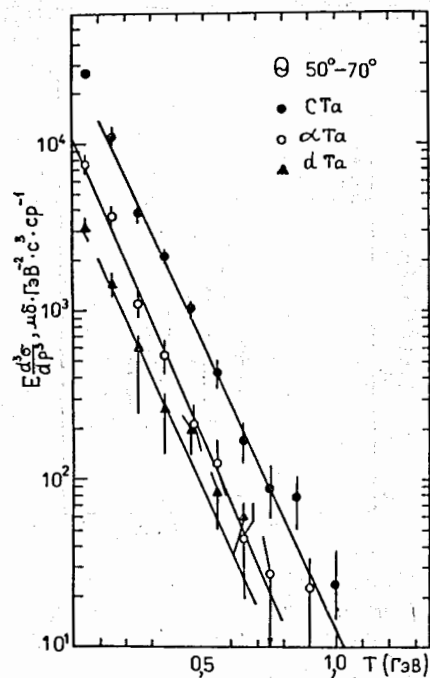


Рис.6

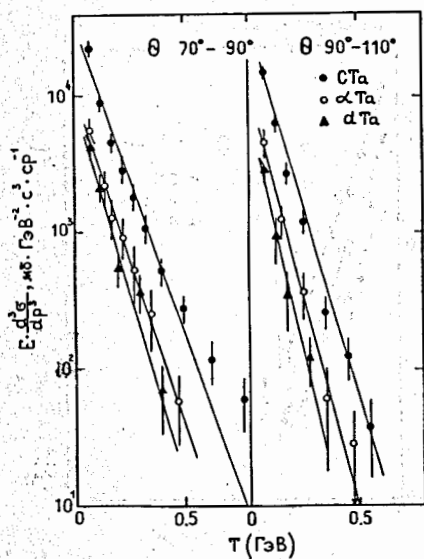


Рис.7

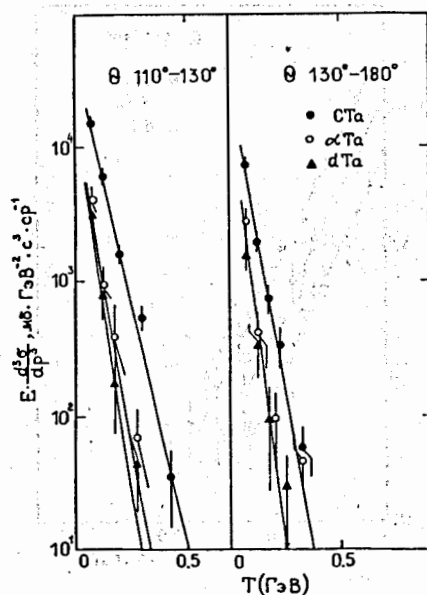


Рис.8

Таблица 2. Параметры T_0 , полученные при аппроксимации спектров π^- -мезонов функцией $\sigma_{inv} = A \cdot e^{-T/T_0}$

θ лаб.	T_0 , ГэВ		
	dTa	α Ta	CTa
10°-20°	0,285±0,023	0,330±0,017	0,340±0,010
ΔT (ГэВ)	0,1-1,7	0,1-1,9	0,1-2,5
χ^2	0,83	0,2	0,72
20°-30°	0,260±0,024	0,249±0,016	0,262±0,008
ΔT (ГэВ)	0,1-1,4	0,1-1,7	0,1-2,1
χ^2	0,36	0,48	0,54
30°-40°	0,227±0,022	0,189±0,016	0,201±0,008
ΔT (ГэВ)	0,1-1,2	0,1-1,2	0,1-1,7
χ^2	0,84	0,62	1,7
40°-50°	0,174±0,021	0,170±0,015	0,161±0,007
ΔT (ГэВ)	0,1-1,1	0,1-1,1	0,1-1,3
χ^2	1,8	0,9	0,55
50°-70°	0,137±0,013	0,116±0,009	0,128±0,005
ΔT (ГэВ)	0,1-0,7	0,1-0,8	0,1-1,1
χ^2	0,62	1,1	1,5
70°-90°	0,081±0,007	0,090±0,010	0,095±0,005
ΔT (ГэВ)	0,05-0,45	0,05-0,55	0,05-0,85
χ^2	1,5	0,41	1,7
90°-110°	0,068±0,009	0,069±0,009	0,073±0,004
ΔT (ГэВ)	0,05-0,35	0,05-0,55	0,05-0,6
χ^2	1,5	0,43	0,87
110°-130°	0,055±0,006	0,057±0,007	0,060±0,004
ΔT (ГэВ)	0,05-0,35	0,05-0,35	0,05-0,5
χ^2	0,63	1,1	1,0
130°-180°	0,046±0,006	0,046±0,005	0,049±0,004
ΔT (ГэВ)	0,05-0,3	0,05-0,4	0,05-0,4
χ^2	0,26	1,4	1,1

Угловая зависимость параметров T_0 ($\theta > 10^\circ$) аппроксимировалась функцией

$$T_0 = T_0^I / 1 - \beta \cos \theta \quad (2)$$

для каждого типа взаимодействий. Полученные при этом значения параметров T_0^I и β в пределах ошибок одинаковы для dTa-, α Ta- и Стa-соударений (см. табл.3). Сплошная кривая на рис.9 — результат аппроксимации экспериментальных точек для Стa-соударений функцией (2) ($\chi^2 \approx 2$).

На рис.9 приведены также значения параметров T_0 , полученные в экспериментах по изучению спектров π^- -мезонов во взаимодействиях протонов с тяжелыми ядрами $^{15-8, 13}$. Можно видеть, что параметры T_0 при более высоких энергиях превышают соответствующие значения T_0 при 4,2 ГэВ/с на нуклон.

Теперь мы имеем возможность выяснить влияние атомного веса ядра-мишени на форму спектров отрицательных пионов при фиксированных углах. Сравнение параметров T_0 , характеризующих наклоны спектров π^- -мезонов в dTa-, α Ta- и Стa-взаимодействиях (табл.2), с соответствующими параметрами T_0 для dC-, α C- и CC-соударений (табл.2 в ¹¹) показало близость значений параметров T_0 , определяющих форму спектров π^- -мезонов в интервале углов $\theta \geq 90^\circ$ в со-

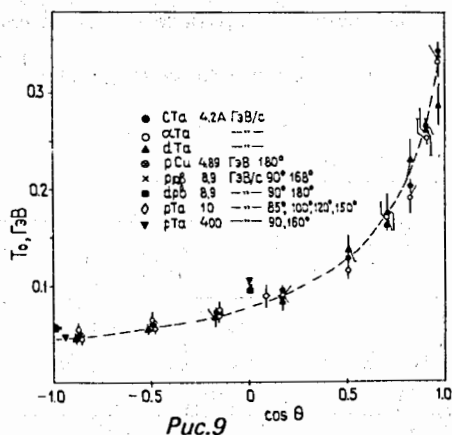


Рис.9

Таблица 3. Параметры T_0^I , полученные при аппроксимации угловой зависимости параметров наклона спектров π^- -мезонов функцией $T_0 = T_0^I / 1 - \beta \cos \theta$

Тип собы-тий	Импульс, ГэВ/с	T_0^I , МэВ	β	Тип собы-тий	Импульс, ГэВ/с на нуклон	T_0^I , МэВ	β
pC ¹¹	4,2	89±6	0,77±0,04	dC ¹¹	4,2	87±4	0,78±0,02
pC ¹⁸	10	100±2	0,81±0,02	α C ¹¹	—	94±4	0,77±0,02
pTa ¹⁸	10	89±4	0,79±0,03	CC ¹¹	—	91±3	0,76±0,02
π^- C ¹⁸	40	105±2	0,80±0,02	dTa	—	77±4	0,77±0,02
pAl ¹⁶	8,9	95,0±0,4*		α Ta	—	74±4	0,79±0,02
pC ¹¹³	400	99±2*		Стa	—	78±2	0,78±0,02
pTa ¹¹³	400	107±2*					

*Параметры T_0 определены для $\theta = 90^\circ$. В этом случае $T_0 = T_0^I$.

ответствующих типах взаимодействий. Угловые зависимости параметров $1/T_0$ для CC- и Стa-взаимодействий (рис.10) дают представление о влиянии атомного веса ядра мишени на рассматриваемые распределения. Можно видеть, что с увеличением A мишени увеличивается наклон спектров π^- -мезонов в передней полусфере, особенно при малых углах. Спектры π^- -мезонов, вылетающих назад ($\theta > 90^\circ$), в пределах $\sim 10\%$ погрешностей не зависят от атомного веса ядра-мишени. Прямые на рис.10 — результат аппроксимации экспериментальных данных для Стa (сплошная линия) - и CC (штриховая) - взаимодействий функцией

$$1/T_0 = a - bx,$$

где $a^{Стa} = (12,2 \pm 0,3) \text{ ГэВ}^{-1}$, $b^{Стa} = (8,8 \pm 0,4) \text{ ГэВ}^{-1}$, $\theta > 20^\circ$, $\chi^2 = 0,8$, $a^{CC} = (11,7 \pm 0,3) \text{ ГэВ}^{-1}$, $b^{CC} = (9,1 \pm 0,4) \text{ ГэВ}^{-1}$, $\theta > 10^\circ$, $\chi^2 = 1,1$.

СЕЧЕНИЯ ВЫХОДА π^- -МЕЗОНОВ

Зависимость инклюзивного сечения выхода π^- -мезонов ($d\sigma^{\pi^-}/d\Omega$) из dC-, α C- и CC-взаимодействий от атомного веса ядра-снаряда в различных угловых интервалах показана на рис.11. Видно, что в каждом угловом диапазоне зависимость $d\sigma^{\pi^-}/d\Omega$ от A снаряда хорошо аппроксимируется степенной функцией $d\sigma^{\pi^-}/d\Omega = b_c A^{a_c}$. Параметр a_c с увеличением угла вылета π^- -мезонов уменьшается от $a_c = 0,98 \pm 0,03$ для $\theta \leq 10^\circ$ до $a_c = 0,65 \pm 0,06$ для $\theta > 130^\circ$.

Анализ зависимости $d\sigma^{\pi^-}/d\Omega$ от атомного веса ядра-снаряда для dTa-, α Ta- и Стa-взаимодействий (в тех же угловых интервалах) показал, что она тоже может быть аппроксимирована степенной функцией $d\sigma^{\pi^-}/d\Omega = b_{Ta} A^{a_{Ta}}$. В интервале углов до 70° величина a_{Ta} постоянна и равна $1,07 \pm 0,03$, с увеличением θ выше 70° a_{Ta} медленно уменьшается до $a_{Ta} = 0,80 \pm 0,07$ для $\theta > 130^\circ$. Таким образом, сечения выхода π^- -мезонов с увеличением атомного веса ядра-снаряда растут быстрее на тяжелой мишени, чем на легкой.

Имеющиеся у нас данные позволяют исследовать и зависимость $d\sigma^{\pi^-}/d\Omega$ от атомного веса ядра-мишени при данном A снаряда во всем диапазоне углов.

Если предположить, что отношение

$$\frac{d\sigma_{ATa}^{\pi^-}}{d\Omega} / \frac{d\sigma_{AC}^{\pi^-}}{d\Omega}$$

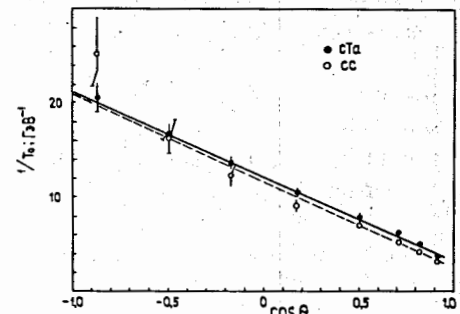


Рис.10

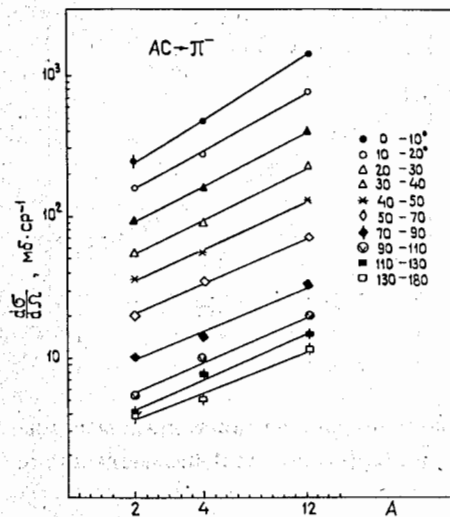


Рис.11

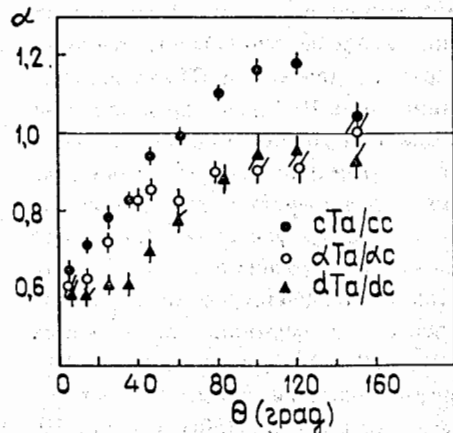


Рис.12

в каждом угловом интервале следует зависимости $A_{Ta}^{\alpha}/A_C^{\alpha}$, то получим угловые зависимости параметров α , представленные на рис.12. Как и ожидалось, минимальные значения $\alpha \approx 0,6$ зафиксированы при малых углах θ для всех ядер-снарядов. По мере увеличения θ α растет, приближаясь к $\alpha \approx 1$ для реакций, вызванных дейтронами и α -частицами, а для взаимодействий, вызванных ядрами углерода, α превышает единицу в интервале $70-130^\circ$.

Пропорциональная A_T -зависимость сечений отмечалась ранее для кумулятивных пионов из протон-ядерных взаимодействий ^{16,7,13/}, а также для пионов с $\theta \geq 60^\circ$ из протон-ядерных взаимодействий при 10 ГэВ/с ^{18/} и пионов с $u_{п.с.} > 0,4$ из He A_T -соударений при $4,5 \text{ ГэВ/с}$ на нуклон ^{14/}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование дифференциальных спектров π^- -мезонов по кинетической энергии в dTa-, α Ta- и cTa-взаимодействиях позволяет сделать следующие выводы. Спектры пионов с кинетической энергией выше $0,1 \text{ ГэВ}$ и углом вылета $\theta > 10^\circ$ экспоненциально спадают с ростом T во всех исследуемых типах взаимодействий и могут быть аппроксимированы функцией $\sigma_{inv} = A e^{-T/T_0}$.

Значения параметров T_0 в пределах $\sim 10\%$ ошибок не зависят от атомного веса ядра-снаряда в соответствующих угловых интервалах, начиная с $\theta = 20^\circ$ (см.табл.2). Этот факт позволяет утверждать, что форма спектров π^- -мезонов не зависит от типа ядра-снаряда (d, α , C) в широком интервале углов ($20-180^\circ$).

Угловая зависимость параметров $T_0^{\pi^-}$ аппроксимируется функцией (2) с близкими значениями параметров T_0^I и β для dTa-, α Ta- и cTa-взаимодействий (см.табл.3).

Сравнение спектров π^- -мезонов из взаимодействий d, α и C с легкой (C) и тяжелой (Ta) мишенями показало, что влияние атомного веса ядра-мишени на форму спектров пионов существенно при малых углах θ . Для углов $\theta > 90^\circ$ спектры π^- -мезонов от A мишени практически не зависят (в пределах 10% погрешностей).

Зависимость дифференциальных сечений выхода π^- -мезонов от атомного веса налетающего (первичного) ядра описывается степенной функцией $\sim A^{\alpha}$ во всех угловых интервалах как для dC-, α C и cC-, так и для dTa-, α Ta-, cTa-взаимодействий. Параметры α близки к единице при малых θ и падают до $\alpha = 0,7-0,8$ для углов $\theta \geq 130^\circ$, причем α_{Ta} систематически превышает α_C . Зависимость сечения выхода π^- -мезонов от атомного веса ядра-мишени существенно меняется с увеличением угла θ для всех первичных ядер (d, α , C). При малых углах эта зависимость характеризуется функцией $A_T^{0,6-0,7}$ во всех исследуемых взаимодействиях, в то время как в интервале углов $\theta > 90^\circ$ показатель степени A_T приближается к единице в реакциях, вызванных дейтронами и α -частицами, а для cTa- и cC-взаимодействий $\alpha > 1$ (рис.12), т.е. сечение выхода π^- -мезонов в интервале $\theta > 90^\circ$ возрастает пропорционально атомному весу ядра-мишени, а с увеличением атомного веса ядра-снаряда, возможно, и сильнее.

Результаты, характеризующие зависимость сечений выхода π^- -мезонов от атомных весов сталкивающихся ядер свидетельствуют о том, что сечение выхода π^- -мезонов под малыми углами определяется числом нуклонов-участников (ν) из ядра-снаряда ($\langle \nu \rangle \sim A$) и сечением нуклон-ядерного взаимодействия ($\sigma_{NA_T} \sim A_T^{0,7}$), а под большими углами, соответственно, числом нуклонов-участников (ν_T) из ядра-мишени ($\langle \nu_T \rangle \sim A_T$) и σ_{NA} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-89-793, Дубна, 1989; ЯФ, 1990, т.51, с.758.
2. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-84-35, Дубна, 1984; ЯФ, 1984, т.40, с.1209; Zeit.Phys.C, 1985, v.27, p.117.
3. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-81-176, Дубна, 1981; ЯФ, 1981, т.34, с.1517.
4. Балдин А.М. и др. — ЯФ, 1974, т.20, с.1201.
5. Балдин А.М. и др. — ЯФ, 1975, т.21, с.1008.
6. Baldin A.M. et al. — JINR, E1-82-472, Dubna, 1982.
7. Schroeder L.S. et al. — Phys.Rev.Lett., 1979, v.43, p.1787.
8. Армутлийски Д. и др. — Сообщение ОИЯИ P1-91-191, Дубна, 1991.
9. Ивановская И.А. — Сообщение ОИЯИ P1-91-264, Дубна, 1991.

10. Канарек Т. и др. — ОИЯИ, Р1-88-30, Дубна, 1988; ЯФ, 1988, т.48, с.1752.
11. Бояринов С.В. и др. — ЯФ, 1987, т.46, с.1472.
12. Беляев И.М. и др. — ОИЯИ, Р1-89-112, Дубна, 1989.
13. Nikiforov N.A. et al. — Phys.Rev.C, 1980, v.22, p.700.
14. Аникина М.Х. и др. Автореферат диссертации. ОИЯИ, 1-87-758, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 августа 1991 года.