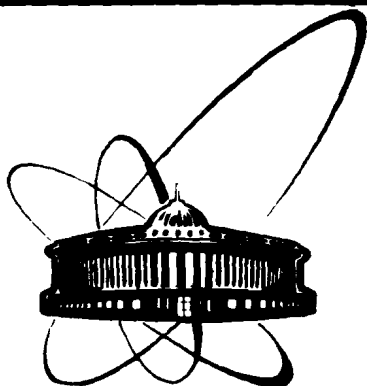


89-793



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A 23

P1-89-793

Г.Н. Агакишиев¹, Д. Армутлийски², С. Бацкович³,
В. Болдеа⁴, С. Дица⁴, К. Йовчев, Т. Канарек,
Е.Н. Кладницкая, Л. Симич⁵, Г.П. Тонеева⁶,
Р. Тогоо

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРОВ π^- -МЕЗОНОВ
ПРИ ФИКСИРОВАННЫХ УГЛАХ
ОТ АТОМНОГО ВЕСА ЯДРА-СНАРЯДА
В pC-, dC-, α C- И CC-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Направлено в журнал "Ядерная физика"

¹Институт физики АН АзССР, Баку

²Высший машинно-электротехнический институт, Варна

³Институт математики и физики, Титоград

⁴Центральный институт физики, Бухарест

⁵Институт физики, Белград

⁶Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ,
Москва

1989

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Использованы стереофотографии, полученные при облучении двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ в пучках протонов, дейтронов, α -частиц и ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Неупругие взаимодействия с ядрами углерода отбирались из всех событий в пропане по ранее описанной методике ^{/1,9/}. Кроме общего просмотра по отбору неупругих СС-взаимодействий был проведен (на большем числе пленок) специальный просмотр для отбора многонуклонных СС-событий ^{/10/} (СС^{МН}) и событий с кумулятивными π^- -мезонами ($P_{\text{лаб.}} > 0,2$ ГэВ/с, $\theta_{\text{лаб.}} > 90^\circ$). Напомним, что СС^{МН}-события характеризуются отсутствием спекторных фрагментов с $Z \geq 2$ от налетающего ядра углерода и не более, чем двумя, однозарядными фрагментами. Многонуклонные события составляют 19% от неупругих СС-взаимодействий.

Все отрицательные частицы в анализируемых взаимодействиях считались π^- -мезонами. В пропановой камере π^- -мезоны надежно идентифицируются при импульсах $P_{\text{лаб.}} > 0,07$ ГэВ/с. Полное число событий по типам взаимодействий представлено в табл.1.

Таблица 1. Статистика событий и средние множественности π^- -мезонов в исследуемых типах взаимодействий

	pC	dC	α C	CC	СС ^{МН}
$N_{\text{соб.}}$	4026	5715	4610	5069	2996
$\langle n_{\pi^-} \rangle$	$0,33 \pm 0,02$	$0,62 \pm 0,03$	$1,07 \pm 0,05$	$1,52 \pm 0,07$ ^{/1/}	$2,92 \pm 0,04$ ^{/10/}

СПЕКТРЫ π^- -МЕЗОНОВ

Инвариантные сечения выхода π^- -мезонов для pC-, dC-, α C- и СС-взаимодействий в зависимости от кинетической энергии пионов в лабораторной системе для различных угловых интервалов показаны на рис.1-10. Видно, что спектры пионов с $T > 0,1$ ГэВ/с из всех рассматриваемых типов взаимодействий и во всех угловых интервалах, кроме области малых углов ($\theta_{\text{лаб.}} < 10^\circ$), экспоненциально спадают с ростом T (рис. 2-10). По мере возрастания $\theta_{\text{лаб.}}$ наклон спектров увеличивается. Аппроксимация инвариантных сечений функцией вида

$$\sigma_{\text{инв.}} = A \exp(-T/T_0(\theta_{\text{лаб.}})) \quad (1)$$

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена анализу спектров π^- -мезонов по кинетической энергии (T) в лабораторной системе в угловом интервале от 0 до 180° во взаимодействиях протонов, дейтронов, ядер гелия-4 и углерода с углеродной мишенью при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Цель работы — выяснить влияние атомного веса (A) ядра-снаряда на спектры пионов, вылетающих под фиксированными углами.

Ранее ^{/1/} нами было показано, что форма инклюзивных спектров отрицательных пионов не зависит от A для dC-, α C- и СС-взаимодействий. Вместе с тем отмечалось различие инклюзивных спектров π^- -мезонов из ядро-ядерных и протон-ядерных взаимодействий ^{/1/}. При последующем изучении спектров пионов в СС-соударениях ^{/2/} было установлено, что этого различия нет для π^- -мезонов, вылетающих в заднюю полусферу ($\theta_{\text{лаб.}} > 90^\circ$). Параметры, которые характеризуют форму дифференциальных спектров π^- -мезонов под углами выше 90° в СС-соударениях, совпадают с аналогичными параметрами для спектров пионов в протон-ядерных столкновениях из ^{/3-5/}.

Эксперименты в Беркли ^{/6,7/} показали, что форма спектров π^- -мезонов, испускаемых под углом 90° в с.ц.м. нуклон-нуклон, практически не меняется с увеличением атомного веса во взаимодействиях одинаковых по массе ядер ($C + C$, $Ne + NaF$, $Ag + KCl$, $La + La$) при энергии 0,8 ГэВ на нуклон, но проявляется явная зависимость формы спектров пионов ($\theta_{\text{с.ц.м.}} = 90^\circ$) от энергии первичного ядра в интервале 0,4-2,1 ГэВ на нуклон. Систематического исследования зависимости спектров π^- -мезонов от атомного веса сталкивающихся ядер при более высоких энергиях еще не проводилось.

Кроме исследования влияния атомного веса ядра-снаряда на форму спектров π^- -мезонов в данной работе анализируется зависимость спектров пионов от степени центральности СС-взаимодействий. Стимулом к проведению этой работы послужили результаты эксперимента ^{/8/}, показавшие слабую зависимость инклюзивных распределений π^- -мезонов от величины параметра удара в СС-соударениях.

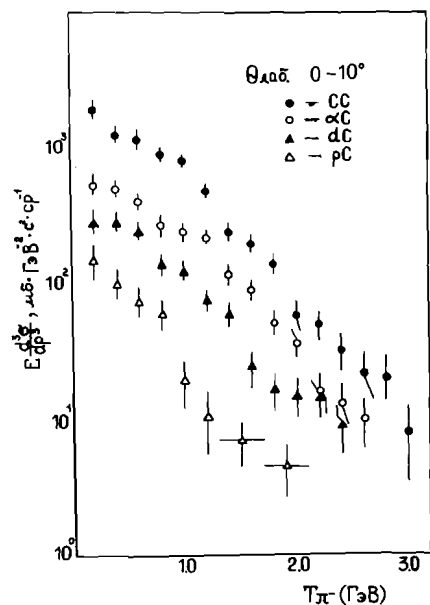


Рис.1. Спектры π^- -мезонов в зависимости от кинетической энергии в угловом интервале $0-10^\circ$ для pC (Δ), dC (\circ), aC (\bullet) и CC (\bullet) взаимодействий.

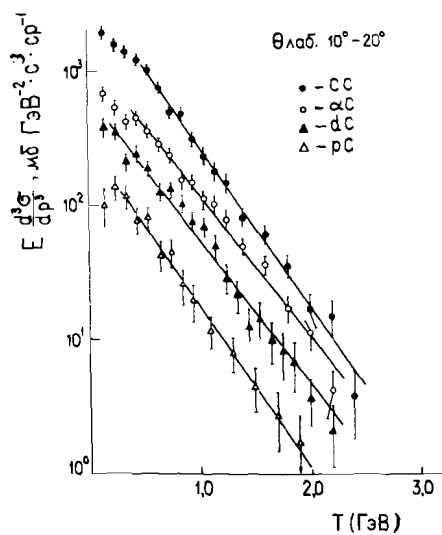


Рис.2. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $10^\circ-20^\circ$. Обозначения, как на рис.1. Прямые — результат аппроксимации экспериментальных данных экспонентой.

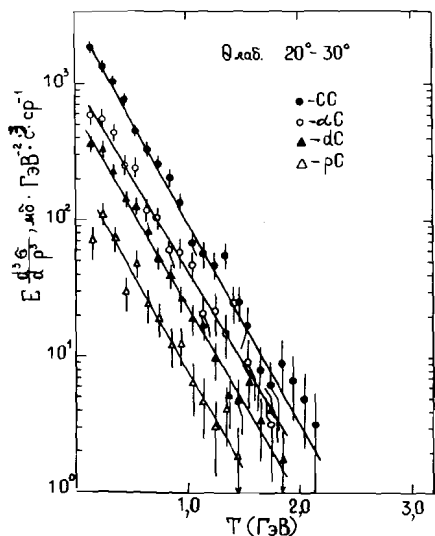


Рис.3. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $20^\circ-30^\circ$. Обозначения, как на рис.1.

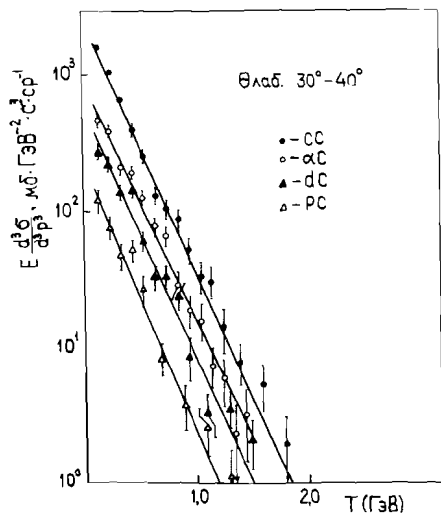


Рис.4. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $30^\circ-40^\circ$. Обозначения, как на рис.1.

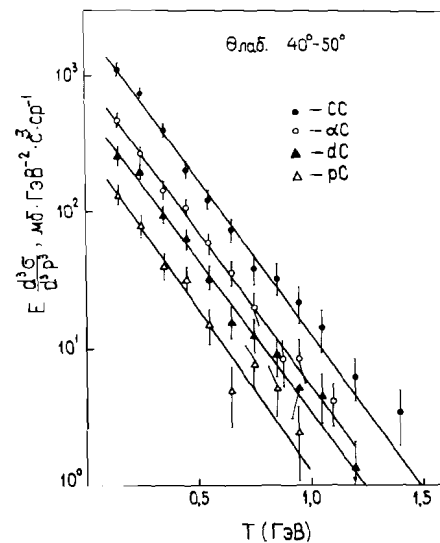


Рис.5. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $40^\circ-50^\circ$. Обозначения, как на рис.1.

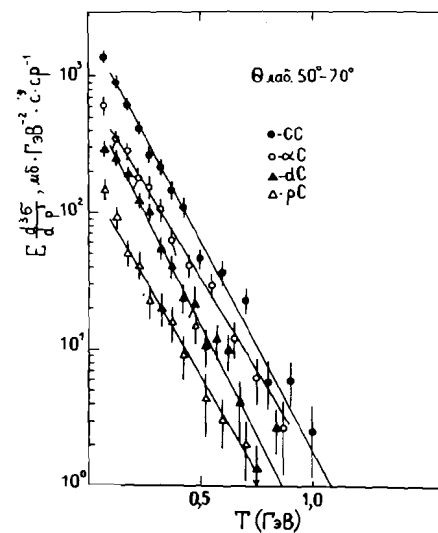


Рис.6. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $50^\circ-70^\circ$. Обозначения, как на рис.1.

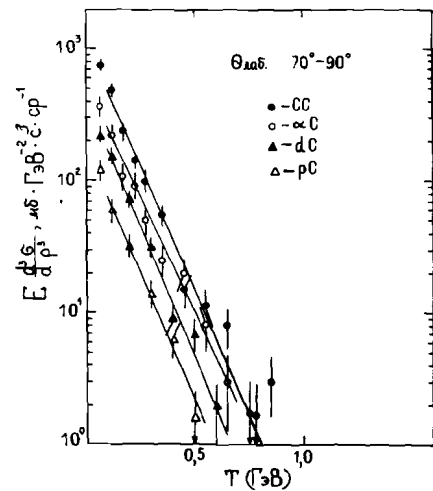


Рис.7. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $70^\circ-90^\circ$. Обозначения, как на рис.1.

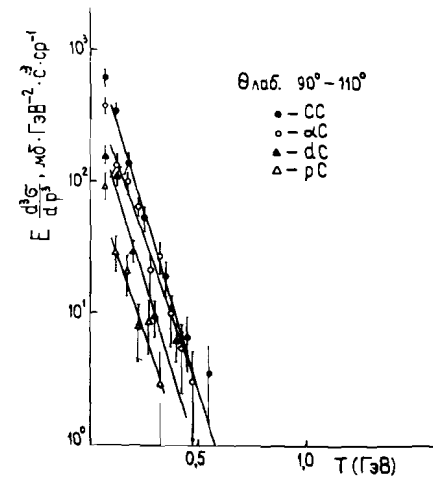


Рис.8. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале $90^\circ-110^\circ$. Обозначения, как на рис.1.

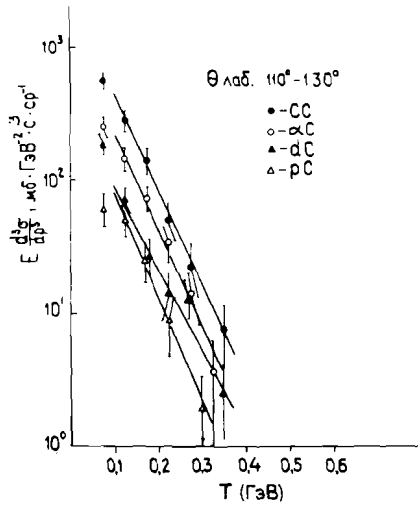


Рис.9. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале 110° - 130° . Обозначения, как на рис.1.

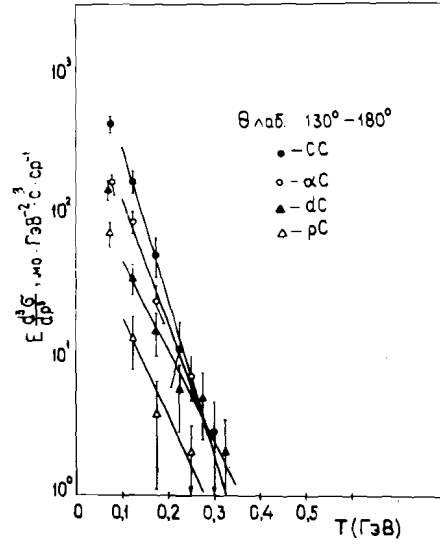


Рис.10. Спектры π^- -мезонов, вылетающих в интервале 130° - 180° . Обозначения, как на рис.1.

дала значения параметров T_0 ($\theta_{\text{лаб.}}$), приведенные в табл.2. Там же указаны интервалы T , в пределах которых проводилась аппроксимация. Значения χ^2 на степень свободы в большинстве случаев составляют ~ 1 . Из табл.2 видно, что параметры T_0 для всех типов взаимодействий в каждом угловом интервале выше 20° совпадают между собой в пределах экспериментальных погрешностей. Отметим, что параметры T_0 для $CC^{\text{МН}}$ -событий находятся в хорошем согласии с T_0 для всех неупругих CC -соударений (табл.2), то есть форма спектров отрицательных пионов мало чувствительна к степени центральности CC -взаимодействия. Из-за малой статистики событий были укрупнены угловые интервалы при больших $\theta_{\text{лаб.}}$. Только специальный просмотр, проведенный для отбора CC -взаимодействий с кумулятивными π^- -мезонами ($P > 0,2$ ГэВ/с и $\theta_{\text{лаб.}} > 90^\circ$), позволил более детально проанализировать спектры π^- -мезонов в интервале углов 100 - 180° для этого типа соударений. Значения параметров T_0 , полученные при аппроксимации спектров пионов экспонентой (1), приведены в табл.3. Видно уменьшение значений T_0 с ростом $\theta_{\text{лаб.}}$ до 140° , для интервала $140^\circ < \theta_{\text{лаб.}} \leq 180^\circ$ величина T_0 в пределах ошибок совпадает с T_0 для интервала 130° - 140° .

Зависимость параметров T_0 от угла вылета пионов для pC -, dC -, αC - и CC -взаимодействий представлена на рис.11. Значения T_0 плавно уменьшаются от 300 до 60 МэВ при увеличении $\theta_{\text{лаб.}}$ от 20° до 130°

Таблица 2. Параметры T_0 , полученные при аппроксимации спектров π^- -мезонов функцией $\sigma_{\text{инв}} = Ae^{-T/T_0}$

Интервал $\theta_{\text{лаб.}}$	T_0			
	pC	dC	αC	$CC^{\text{МН}}$
10° - 20° Т, ГэВ	$0,353 \pm 0,026$ 0,2-2,0	$0,399 \pm 0,014$ 0,2-2,3	$0,413 \pm 0,015$ 0,4-2,2	$0,370 \pm 0,012$ 0,4-2,0
20° - 30° Т, ГэВ	$0,311 \pm 0,026$ 0,2-1,5	$0,303 \pm 0,011$ 0,1-1,9	$0,320 \pm 0,010$ 0,1-1,8	$0,309 \pm 0,007$ 0,1-2,2
30° - 40° Т, ГэВ	$0,229 \pm 0,016$ 0,1-1,4	$0,237 \pm 0,009$ 0,1-1,6	$0,250 \pm 0,009$ 0,1-1,5	$0,234 \pm 0,007$ 0,1-1,5
40° - 50° Т, ГэВ	$0,184 \pm 0,015$ 0,1-1,0	$0,195 \pm 0,009$ 0,1-1,3	$0,194 \pm 0,010$ 0,1-1,2	$0,185 \pm 0,007$ 0,1-1,2
50° - 70° Т, ГэВ	$0,151 \pm 0,013$ 0,1-0,8	$0,132 \pm 0,006$ 0,1-0,9	$0,156 \pm 0,007$ 0,1-0,9	$0,135 \pm 0,005$ 0,1-0,85
70° - 90° Т, ГэВ	$0,112 \pm 0,012$ 0,1-0,6	$0,108 \pm 0,007$ 0,1-0,7	$0,128 \pm 0,009$ 0,1-0,7	$0,104 \pm 0,006$ 0,1-0,65
90° - 110° Т, ГэВ	$0,091 \pm 0,023$ 0,1-0,35	$0,084 \pm 0,011$ 0,1-0,5	$0,095 \pm 0,009$ 0,1-0,5	$0,073 \pm 0,006$ 0,1-0,5
110° - 130° Т, ГэВ	$0,055 \pm 0,010$ 0,1-0,35	$0,070 \pm 0,011$ 0,1-0,4	$0,060 \pm 0,007$ 0,1-0,35	$0,051 \pm 0,007$ 0,1-0,35
130° - 180° Т, ГэВ	$0,065 \pm 0,027$ 0,1-0,3	$0,067 \pm 0,014$ 0,1-0,35	$0,048 \pm 0,008$ 0,1-0,3	$0,050 \pm 0,006$ 0,1-0,35

Таблица 3. Значения параметров T_0 для спектров кумулятивных π^- -мезонов из СС-взаимодействий

	$\theta_{\text{лаб.}}$ (град)				
	100-110	110-120	120-130	130-140	140-180
$T_0, \text{ГэВ}$	$0,088 \pm 0,009$	$0,081 \pm 0,010$	$0,078 \pm 0,013$	$0,049 \pm 0,010$	$0,062 \pm 0,012$
$\Delta T, \text{ГэВ}$	0,1-0,5	0,1-0,45	0,1-0,4	0,1-0,4	0,1-0,3

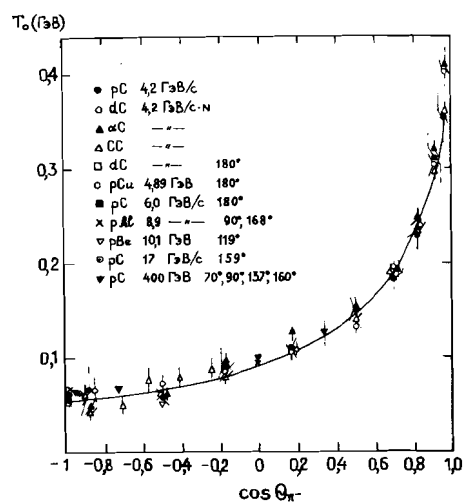


Рис.11. Угловая зависимость параметра T_0 для pC-, dC-, aC- и СС-взаимодействий. Кривая — результат аппроксимации экспериментальных данных функцией (2) с усредненными параметрами.

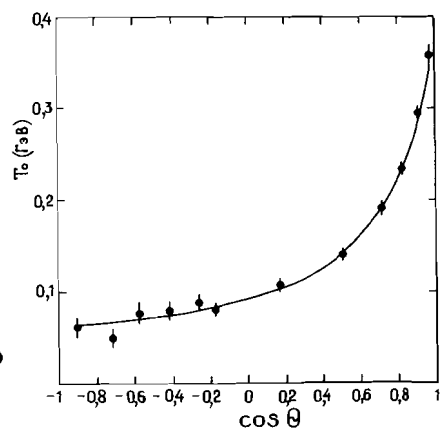


Рис.12. Угловая зависимость параметра T_0 для реакции СС $\rightarrow \pi^-$. Кривая — результат аппроксимации экспериментальных данных функцией (2).

и остаются на уровне 60-50 МэВ для углов выше 130°. Слабая зависимость T_0 от $\theta_{\text{лаб.}}$ в этом угловом интервале отмечалась ранее для спектров пионов из протон-ядерных взаимодействий в широком интервале энергий ^{13-5, 11-13/}.

Зависимость параметров T_0 от $\theta_{\text{лаб.}}$ выше 20° аппроксимировалась функцией

$$T_0 = T_0^\perp / (1 - \beta \cos \theta_{\text{лаб.}}) \quad (2)$$

Таблица 4. Значения параметров T_0^\perp и β , полученные при аппроксимации зависимости T_0 от $\theta_{\text{лаб.}}$ функцией $T_0 = T_0^\perp / (1 - \beta \cos \theta_{\text{лаб.}})$

	pC	dC	aC	CC	CC ^{МН}
$T_0^\perp, \text{ГэВ}$	$0,089 \pm 0,006$	$0,087 \pm 0,004$	$0,094 \pm 0,004$	$0,091 \pm 0,003$	$0,082 \pm 0,003$
β	$0,766 \pm 0,036$	$0,782 \pm 0,019$	$0,773 \pm 0,017$	$0,757 \pm 0,015$	$0,805 \pm 0,012$
χ^2	0,6	1,1	1,8	1,2	0,94

для каждого из рассмотренных типов взаимодействий (см., например, рис.12). Полученные значения параметров T_0^\perp и β в пределах ошибок одинаковы для pC-, dC-, aC- и СС-взаимодействий (см. табл.4). Параметры T_0^\perp и β для многонуклонных СС-соударений близки к соответствующим параметрам для всех неупругих СС-взаимодействий (см. табл.4). Кривая на рис.11 представляет собой зависимость T_0 от $\theta_{\text{лаб.}}$, полученную путем усреднения расчетных T_0^θ по типам взаимодействий (T_0^θ — значение T_0 при определенном угле $\theta_{\text{лаб.}}$).

На рис.11 приведены также значения параметров T_0 , полученные в экспериментах по изучению спектров π^- -мезонов в адрон-ядерных взаимодействиях в интервале 5-400 ГэВ и дейтрон-ядерных соударениях ^{14/}. Можно видеть, что эти параметры хорошо вписываются в зависимость T_0 от $\theta_{\text{лаб.}}$ для спектров π^- -мезонов из взаимодействий легких ядер с ядрами углерода при 4,2 ГэВ/с на нуклон.

Отметим, что аппроксимация (2) успешно использовалась авторами ^{15/} при описании угловых зависимостей T_0 от $\theta_{\text{лаб.}}$ для спектров протонов из глубоко неупругих адрон-ядерных реакций ($-1 \leq \cos \theta_{\text{лаб.}} \leq 1$).

При описании зависимости T_0 от $\cos \theta_{\text{лаб.}}$ для спектров пионов из адрон-ядерных взаимодействий во всем угловом диапазоне (0-180°) авторам ^{16/} потребовалось введение дополнительного квадратичного члена в знаменатель (2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование дифференциальных спектров π^- -мезонов по кинетической энергии в pC-, dC-, aC-, СС- и СС^{МН}-взаимодействиях позволяет сделать следующие выводы.

Спектры пионов с кинетической энергией выше 0,1 ГэВ и углом вылета $\theta_{\text{лаб.}} > 10^\circ$ экспоненциально спадают с ростом T во всех исследуемых типах взаимодействий и могут быть аппроксимированы функцией $\sigma_{\text{inv}} = A e^{-T/T_0}$.

Значения параметров T_0 в пределах 10-15% ошибок не зависят от атомного веса ядра-снаряда в соответствующих угловых интервалах с $\theta_{\text{лаб.}} \geq 20^\circ$. Этот факт позволяет утверждать, что форма спектров π^- -мезонов не зависит от типа ядра-снаряда (p, d, α , C) не только для углов $> 90^\circ$, но и для меньших углов, начиная с $\theta_{\text{лаб.}} = 20^\circ$. Различие в форме спектров pC- и ядро-ядерных взаимодействий наблюдается для π^- -мезонов с малыми углами испускания (см. рис.1, 2).

Значения T_0 убывают с увеличением угла вылета пионов от 20° до 130° и остаются практически постоянными на уровне 60-50 МэВ для углов выше 130° . Угловая зависимость T_0 аппроксимируется функцией (2) с близкими значениями параметров для изучаемых типов взаимодействий. Форма спектров π^- -мезонов мало чувствительна к степени центральности CC-взаимодействий.

В заключение авторы выражают благодарность В.С.Ставинскому за полезные обсуждения, участникам сотрудничества за получение экспериментального материала, лаборантам за просмотр пленок и измерение событий, И.И.Зайцевой и З.П.Сафроновой за помощь в оформлении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Канарек Т. и др. — ОИЯИ, P1-88-30, Дубна, 1988; ЯФ, 1988, т.48, с.1752.
3. Балдин А.М. и др. — ЯФ, 1974, т. 20, с. 1201.
4. Baldin A.M. et al. — JINR, E1-82-472, Dubna, 1982.
5. Бояринов С.В. и др. — ИТЭФ 87-5, М; ЦНИИатоминформ, 1987; ЯФ, 1987, т.46, с. 1472.
6. Nagamiya S. et al. — Phys. Rev. C, 1981, v. 24, p. 971.
7. Hayashi S. et al. — Phys. Rev. C, 1988, v. 38, p. 147.
8. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-89-488, Дубна, 1989.
9. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-83-662, Дубна, 1983.
10. Ахабабян Н. и др. — ОИЯИ, P1-82-536, Дубна, 1982; ЯФ, 1983, т. 37, с. 938.
11. Schroeder L.S. et al. — Phys. Rev. Lett., 1979, v. 43, p. 1787.
12. Беляев И.М. и др. — ОИЯИ, P1-89-112, Дубна, 1989.
13. Nikiforov N.A. et al. — Phys.Rev.C, 1980, v.22, p.700.
14. Балдин А.М. и др. — ЯФ, 1975, т.21, с. 1008.
15. Баюков Ю.Д. и др. — ЯФ, 1985, т.42, с. 185.
16. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-85-944, Дубна, 1985; ЯФ, 1987, т.45, с.423.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 ноября 1989 года.

Агакишиев Г.Н. и др.

P1-89-793

Зависимость спектров π^- -мезонов при фиксированных углах от атомного веса ядра-снаряда в pC-, dC-, α C- и CC-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон

Представлены инвариантные сечения выхода π^- -мезонов в зависимости от их кинетической энергии при фиксированных углах в интервале от 0 до 180° для pC-, dC-, α C- и CC-взаимодействий при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Показано, что форма спектров пионов выше 0,1 ГэВ и углах испускания $\theta_{\text{лаб.}} > 20^\circ$ не зависит от типа ядра-снаряда в пределах 10-15% погрешностей.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Agakishiev H.N. et al.

P1-89-793

Dependence of π^- -Meson Spectra at Fixed Angles on the Atomic Weight of Projectile in Interactions between Light Nuclei (p, d, α , C) and Carbon Nucleus at 4.2 GeV/c per Nucleon

The paper presents invariant cross sections of π^- -meson production depending on their kinetic energy within intervals from 0 to 180° for pC, dC, α C and CC interactions at 4.2 GeV/c. It is shown that the shape of π^- -meson spectra at emission angles $\theta_{\text{lab.}} > 20^\circ$ does not depend on the type of projectile.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989