

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9792

ЭКЗ ЧИТ. ЗАЛА

P1 - 9792

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ π^- -МЕЗОНОВ
С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА ПРИ 40 ГЭВ/С

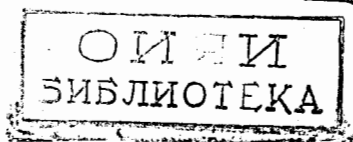
Сотрудничество: Будапешт - Бухарест - Дубна -
Краков - София - Тбилиси -
Ташкент - Улан-Батор - Ханой

1976

P1 - 9792

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ π^- -МЕЗОНОВ
С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА ПРИ 40 ГЭВ/С

Сотрудничество: Будапешт - Бухарест - Дубна -
Краков - София - Тбилиси -
Ташкент - Улан-Батор - Ханой



Направлено в "ЯФ" и на 18 Международную конференцию
по физике высоких энергий. Тбилиси, 1976 г.

Н. Ангелов, К. П. Вишне́вская,¹ В. Г. Гришин, С. В. Джму-
хадзе,² Л. А. Диде́нко,¹ И. А. Ивановская, Т. Я. Иногамова,
Т. Канарек, Е. Н. Кладни́цкая, В. Б. Любимов, С. И. Люто́в,¹
Н. Н. Мельникова, Р. М. Назаргулов, В. Ф. Никитина,
В. М. Попова,² Х. Семерджи́ев, М. И. Соловьёв, А. Н. Соломи́н,¹
М. Сулейма́нов,³ Д. Тувдендо́рж, Н. Г. Фаде́ев, Э. Т. Ци́вци-
вадзе,² А. И. Шкло́вская, Л. М. Ше́глова,¹ Г. Янчо.
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.

Т. Гемеши, Л. Йеник, Д. Киш, Ш. Красновски, Д. Пингер,
К. Хайду.

Центральный институт физических исследований, Будапешт.

О. Балеа, В. Болдеа, Т. Понта, С. Фелеа.

Институт физики, Бухарест.

Н. О. Ахабабян, Л. Грекова, Н. П. Иков, И. М. Младенов,
В. Н. Пенев.

Физический институт и машино-энергетический институт,
София.

Е. Бартке, А. Квятковска, К. Слива.

Институт ядерной физики и Институт ядерной техники,
Краков.

С. А. Азимов, К. Р. Игамбердиев, Ш. В. Иногамов, В. Д. Липин,

С. Л. Лугфуллаев, Е. В. Меерзон, К. Олимов, Х. А. Ризаев,
В. П. Сосник, Т. М. Усманов, А. А. Юлдашев, Б. С. Юлдашев.
Физико-технический институт АН УзССР, Ташкент.

Л. Н. Абесалашвили, Н. С. Амаглобели, М. А. Дасаева,
Т. И. Квачадзе, И. Ш. Мирианашвили, Р. Г. Салуквадзе,
Ю. В. Тевзадзе, И. В. Тулиани, М. С. Чаргейшвили,
Л. Т. Ахобадзе.

Тбилисский государственный университет.

Ц. Баатар, Б. Чадраа

Институт физики и математики

Монгольской академии наук, Улан-Батор.

Нгуен Дин Ты

Ханойский университет.

В настоящей работе представлены экспериментальные результа-
ты по исследованию свойств π^+ и π^- - мезонов, образовавшихся
во взаимодействиях Π^- - мезонов с ядрами углерода при 40 ГэВ/с.
Данные, относящиеся к свойствам вторичных протонов и γ -квантов,
опубликованы в /1-3/.

Работа выполнена на снимках с двухметровой пропановой пузырьковой
камеры, облученной π^- - мезонами с импульсом $P = (40.00 \pm 0.24)$
ГэВ/с на серпуховском синхрофазотроне. Найденные при просмотре
события в соответствии со стандартными критериями для пропановых
камер (см. например /4/) классифицировались как " π^-p ", " π^-n " и
" π^-c " - взаимодействия.

Полное число всех событий было нормировано к полному сечению
взаимодействия π^- - мезонов с молекулой пропана.

Нормировка показала, что в " π^-p " - событиях присутствует
примесь \mathcal{L} , от взаимодействий на квазисвободных нуклонах ядер
углерода. Коэффициент \mathcal{L} определялся в соответствии с выраже-
нием:

$$\mathcal{L} = 1 - \frac{8\sigma_{tot}(\pi^-p)}{3\sigma_{in}(\pi^-c) + 8\sigma_{tot}(\pi^-p)} \cdot \frac{N(\pi^-C_3H_8)}{N(\pi^-p)}, \quad (3)$$

где $N(\pi^-C_3H_8)$ - полное число всех взаимодействий, за-
регистрированных в пропане, а $N(\pi^-p)$ - число событий, отнесен-
ных к " π^-p " - соударениям.

Значение \mathcal{L} оказалось равным $\mathcal{L} = 0.44 \pm 0.03$. В работе /5/
показано, что величина \mathcal{L} не меняется в интервале 4-40 ГэВ/с.
Этот результат может быть следствием постоянства с энергией эффек-
тивного числа внутриядерных нуклонов, участвующих во взаимодействии.

Полное число взаимодействий π^- - мезонов с ядрами углерода
(включая соударения на квазисвободных нуклонах) определялось по

¹ Физический факультет и научно-исследовательский
институт ядерной физики МГУ.

² Тбилисский государственный университет.

³ Институт физики АН АзССР.

формуле $N(\pi^{-12}C) = N(\pi^{-}C) + N(\pi^{-}n) + 2N(\pi^{-}p)$.

Необходимо подчеркнуть, что π^{-} - углеродные взаимодействия составляют 74% от всех событий, зарегистрированных в пропане.

Приведенные ниже данные основаны на анализе ≈ 3400 неупругих $\pi^{-12}C$ - взаимодействий, в которых имеется свыше 30000 π^{\pm} - мезонов и протонов.

Протоны идентифицировались по пробегам и ионизации в интервале импульсов $140 \leq p \leq 700$ МэВ/с. Положительно заряженные частицы с импульсами $p \geq 700$ МэВ/с были отнесены к π^{+} - мезонам. Приведенные оценки примеси протонов среди быстрых положительных частиц по δ -электронам (см./6/) показали, что она составляет $(12 \pm 5)\%$.

Медленные π^{+} - мезоны идентифицировались по распадам. Основную долю (более 95%) отрицательных частиц составляют π^{-} - мезоны. В 3,2% случаев из-за вторичных взаимодействий не удалось идентифицировать частицы по зарядам и были введены соответствующие поправки.

Средняя ошибка измерения импульсов вторичных π^{\pm} - мезонов оказалась равной $(\Delta p/p) = (11.5 \pm 0.1)\%$, а для протонов $(\Delta p/p) = (4.6 \pm 0.1)\%$.

§ 2. МНОЖЕСТВЕННОСТЬ

После измерений и введения соответствующих поправок на неизмеримые треки средние множественности π^{-} и π^{+} - мезонов в $\pi^{-12}C$ - взаимодействиях соответственно оказались равными:

$$\langle n_{\pi^{-}} \rangle = 3.22 \pm 0.02 \quad \text{и} \quad \langle n_{\pi^{+}} \rangle = 3.10 \pm 0.02,$$

х) Импульсы $\approx 7\%$ протонов были измерены по кривизне, а у остальных - по пробегам.

что в пределах ошибок совпадает с данными, полученными при просмотре.

Средняя множественность π^{0} - мезонов при той же энергии составляет: $\langle n_{\pi^{0}} \rangle_{\pi^{-12}C} = 2.91 \pm 0.04^x$.

Тогда для суммарной множественности π - мезонов в $\pi^{-12}C$ - взаимодействиях ($\langle n_{\pi} \rangle = \langle n_{\pi^{\pm}} \rangle + \langle n_{\pi^{0}} \rangle$) при 40 ГэВ/с имеем:

$\langle n_{\pi} \rangle_{\pi^{-12}C} = 9.23 \pm 0.05$. Средняя множественность пионов (включая нейтральные) в неупругих π^{-} - нуклонных взаимодействиях при 40 ГэВ/с равна:

$$\langle n_{\pi} \rangle_{\pi^{-}N} = \frac{1}{2} [\langle n_{\pi} \rangle_{\pi^{-}p} + \langle n_{\pi} \rangle_{\pi^{-}n}] = 7.78 \pm 0.08^{xx}$$

откуда для отношения средних множественностей π^{-} - мезонов, образованных в неупругих $\pi^{-12}C$ и $\pi^{-}N$ - взаимодействиях, имеем

$$R_{\pi^{-12}C} = \frac{\langle n_{\pi} \rangle_{\pi^{-12}C}}{\langle n_{\pi} \rangle_{\pi^{-}N}} = 1.19 \pm 0.01,$$

что согласуется в известными данными для широкого диапазона энергии^{xxx}.

§ 3. ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Импульсные спектры в лабораторной системе координат (L -система) представлены на рис. I вместе с результатами для πp - взаимодействий при той же первичной энергии. Спектры для πp и $\pi^{-12}C$ - взаимодействий мало отличаются друг от друга, причем спектр для π^{-} - мезонов более жесткий, чем для π^{+} - мезонов. Последнее, скорее всего, связано с эффектом лидирования.

х) Данные получены при анализе 10803 неупругих $\pi^{-12}C$ - взаимодействий, обработанных сотрудничеством Будапешт-Бухарест-Варшава-Дубна-Краков-Серпухов-София-Ташкент-Тбилиси-Улан-Батор-Ханой.

xx) Множитель 1/2 появляется вследствие одинакового числа протонов и нейтронов в ядре углерода.

xxx) См. например, /7/ и сноски в ней.

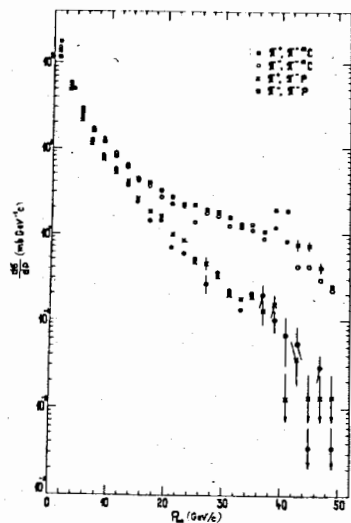


Рис. 1

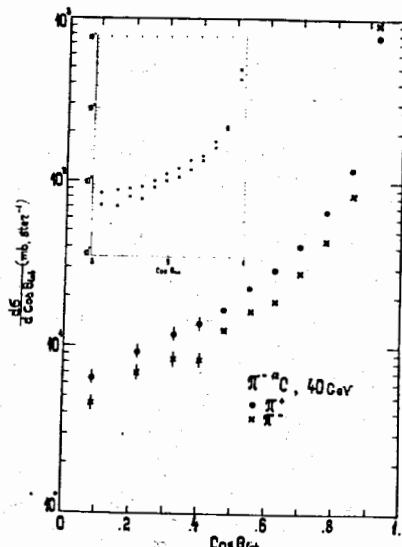


Рис. 2

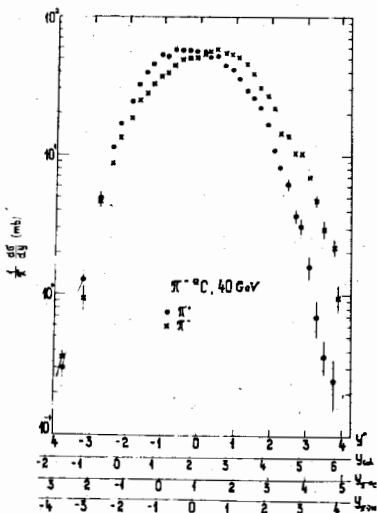


Рис. 3

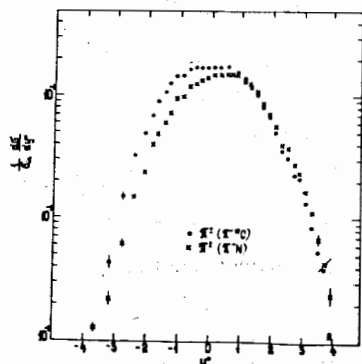


Рис. 4

Вид спектров вблизи кинематического предела искажен из-за погрешностей измерения импульсов частиц, близких к импульсу первичного пиона.

В L - системе вторичные частицы резко коллимированы по направлению движения налетающего пиона. Причем степень коллимации отрицательных пионов больше, чем положительных. Это связано с существованием лидирующего π^- - мезона, вылетающего под углом θ с $\text{Cos } \theta \approx 0,99$ (рис.2).

§ 4. ИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ π^\pm МЕЗОНОВ

На рис.3 представлены распределения по продольным быстройтам $Y = \frac{1}{2} \ln \frac{E+p_{||}}{E-p_{||}}$ для π^\pm - мезонов.

По оси абсцисс на рис.3 отложены значения быстрот π - мезонов в различных системах координат:

в системе центра масс πN - взаимодействий Y^* ; в лабораторной системе координат $Y_{\text{лаб}}$; в системе центра масс соударения π^- - мезона с ν нуклонами (ν - среднее число внутриядерных взаимодействий^{x)}); и в системе центра масс $\pi^{12}C$ - столкновения.

Примечательной особенностью приведенных распределений является существенная разница в спектрах π^- и π^+ - мезонов - максимумы распределений значительно сдвинуты друг относительно друга. Причем, если рассматривать эти спектры в с.ц.м. πp - взаимодействий, то видно, что максимум в распределении π^+ - мезонов наблюдается в области $Y_{\text{max}}^* \approx -0,7$, тогда как для π^- - мезонов $Y_{\text{max}}^* \approx \pm 0,5$.

На рис.4 показано распределение по быстройтам всех заряженных π - мезонов. Из анализа этого распределения вытекает, что с вероятностью $\approx 50\%$ (χ^2 степень свободы = 0,99) в ин-
онда использована процедура, описанная в /8/ с гауссовой плотностью.

тервале быстрот $-0,7 \leq Y^* \leq +0,7$ наблюдается плато, тогда как в спектрах π^- и π^+ - мезонов по отдельности этого нет. Наличие плато в распределениях по быстротам вторичных пионов важно с точки зрения некоторых моделей адрон-ядерных взаимодействий (см. например /9/). На этом же рисунке для сравнения приведено распределение по быстротам для π^-N - взаимодействий при той же энергии. Величина сдвига плато для $\pi^-^{12}C$ - взаимодействий и разница в сечениях в области максимумов хорошо согласуется с оценками, приведенными в работе /10/.

Отношения средних множественностей π^\pm - мезонов при значениях $Y^* < 0$ и $Y^* \geq 0$ для $\pi^{12}C$ - взаимодействий составляют:

$$\delta_\pm(Y^* < 0) = \frac{\langle n_{\pi^\pm}(Y^* < 0) \rangle}{\langle n_{\pi^\mp}(Y^* < 0) \rangle} = 1.29 \pm 0.05$$

и

$$\delta_\pm(Y^* \geq 0) = \frac{\langle n_{\pi^\pm}(Y^* \geq 0) \rangle}{\langle n_{\pi^\mp}(Y^* \geq 0) \rangle} = 0.73 \pm 0.02.$$

На рис.5 представлены распределения π^\pm - мезонов по переменной $X = P_{\pi^\pm}^*/P_{max}$ в с.ц.м. π^-p - соударения. Для

π^- - мезонов, как видно, наблюдаются эффекты, свойственные лидирующим частицам. В области $X=0$ значения инклюзивных сечений π^+ и π^- - мезонов совпадают в пределах экспериментальных ошибок:

$$\left(\frac{d\sigma}{dx}\right)_{\pi^-} / \left(\frac{d\sigma}{dx}\right)_{\pi^+} = 1.00 \pm 0.02.$$

Этот результат, вообще говоря, не противоречит гипотезе факторизации реджевских траекторий /11/.

На рис.6 показаны распределения инклюзивных сечений π^\pm - мезонов, нормированных на полное неупругое сечение для $\pi^{12}C$ и π^-N взаимодействий при 40 ГэВ/с. Спектры пионов в π^-N -соударениях получены в соответствии с выражением

$$\left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dx}\right)_{\pi^-N} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dx}\right)_{\pi^-p} + \left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dx}\right)_{\pi^-n} \right].$$

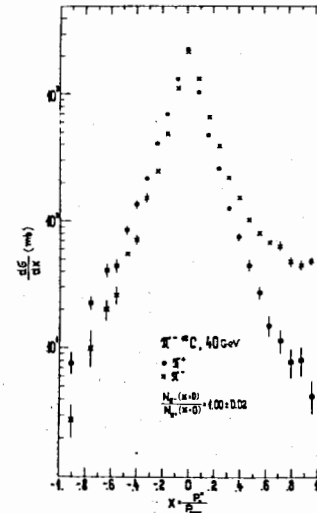


Рис.5

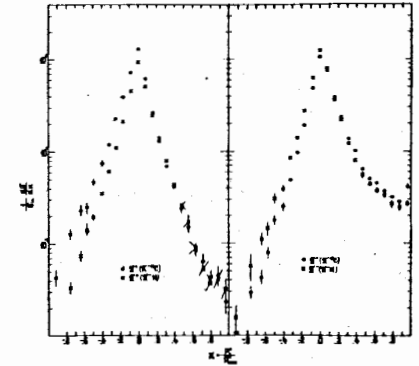


Рис.6

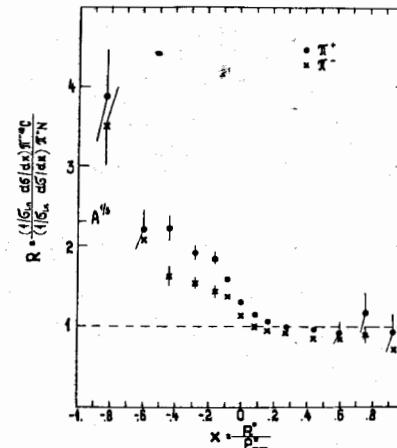


Рис.7

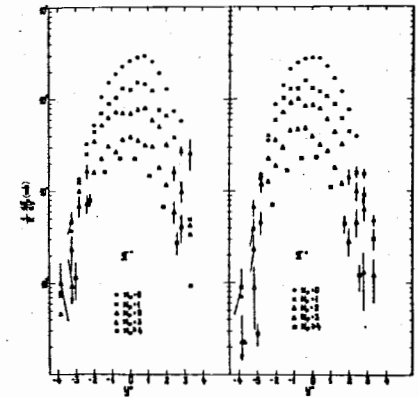


Рис.8

Как видно из рис.6, спектры частиц в $\pi^{-12}\text{C}$ и $\pi^{-\text{N}}$ взаимодействиях отличаются друг от друга практически при всех значениях X , за исключением области $X \approx 0$, где наблюдается приближенное равенство

$$\left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dX}\right)_{\pi^{-12}\text{C}} /_{X=0} \approx \left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dX}\right)_{\pi^{-\text{N}}} /_{X=0}$$

Разница в спектрах π^{\pm} - мезонов в $\pi^{-12}\text{C}$ и $\pi^{-\text{N}}$ взаимодействиях наглядно видна также на рис.7, где показано отношение $R = \left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dX}\right)_{\pi^{-12}\text{C}} / \left(\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dX}\right)_{\pi^{-\text{N}}}$ в зависимости от X . Отношение инклюзивных спектров максимально в области $X = -1$ (область фрагментации ядра), затем круто спадает, пересекая значение $X \approx -1$ в районе $X \approx 0,1$. Обращает на себя внимание отсутствие существенной разницы в поведении R для π^{-} и π^{+} - мезонов.

Необходимо отметить, что в области $X < -0,6$ отношение R сильнее зависит от атомного номера ядра, чем ожидается из соотношения $R \sim A^{1/3}$.

На рис.8 представлены распределения π^{\pm} - мезонов по быстротам в $\pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях с различным числом идентифицированных протонов. Видно, как для π^{+} , так и для π^{-} мезонов, что максимум спектров смещается в сторону малых значений скорости с ростом множественности протонов. Средние значения скорости мезонов в лабораторной системе координат падают приблизительно линейно с числом протонов и при этом $\langle Y_{\pi^{-}} \rangle > \langle Y_{\pi^{+}} \rangle$ (см. таблицу I). Такое поведение спектров по скорости, вообще говоря, не противоречит многим моделям адрон-ядерных взаимодействий, включая даже и каскадные модели [12].

Таблица I

Множественность протонов	π^{-} - мезонов			π^{+} - мезонов		
	$\langle Y \rangle$ лаб	$D \langle Y \rangle$	$\langle P_1 \rangle$ (МэВ/с)	$\langle Y \rangle$ лаб	$D \langle Y \rangle$	$\langle P_1 \rangle$ (МэВ/с)
0	$2,68 \pm 0,01$	1,59	367 ± 2	$2,20 \pm 0,01$	1,35	378 ± 2
1	$2,44 \pm 0,02$	1,86	351 ± 3	$2,01 \pm 0,02$	1,57	372 ± 4
2	$2,24 \pm 0,03$	1,79	344 ± 7	$1,90 \pm 0,03$	1,42	390 ± 7
3	$2,14 \pm 0,05$	1,82	345 ± 10	$1,71 \pm 0,04$	1,30	375 ± 11
≥ 4	$2,00 \pm 0,06$	1,76	330 ± 14	$1,75 \pm 0,06$	1,42	396 ± 17
Все	$2,46 \pm 0,01$	1,75	354 ± 1	$2,05 \pm 0,01$	1,45	378 ± 2

Отметим, что дисперсии распределений по быстротам в пределах ошибок не зависят от множественности протонов (см. таблицу I).

На рис. 9 показаны распределения π^\pm - мезонов по поперечным импульсам. Эти распределения аппроксимированы выражением вида:

$$\frac{d\sigma}{dP_\perp} = A_1 P_\perp^{A_2} e^{-A_3 P_\perp}$$

с параметрами: $A_1 = (2.12 \pm 0.11) \cdot 10^4 \text{ мдн } \Gamma\text{б}^2 \text{ с}^{-1}$, $A_2 = 1.08 \pm 0.02$, $A_3 = (5.99 \pm 0.07) \Gamma\text{эВ}/\text{с}^{-1}$ для π^+ мезонов $A_1 = (1.73 \pm 0.09) \text{ мдн } \Gamma\text{б}^2 \text{ с}^{-1}$, $A_2 = 1.08 \pm 0.02$, $A_3 = (5.58 \pm 0.07) \Gamma\text{эВ}/\text{с}^{-1}$ для π^- -мезонов.

Средние значения поперечных импульсов π^\pm -мезонов оказались равными:

$\langle P_\perp(\pi^+) \rangle = (354 \pm 1) \text{ МэВ}/\text{с}$ и $\langle P_\perp(\pi^-) \rangle = (378 \pm 2) \text{ МэВ}/\text{с}$, причем они не зависят от множественности протонов (таблица I). Аналогичные данные получены для γ -квантов, испущенных из $\Pi\text{-}^{12}\text{C}$ -взаимодействий при $p=40 \text{ ГэВ}/\text{с}$ /13/. Эти результаты качественно согласуются с представлениями, основанными на модели кластерного типа /14/.

Авторы благодарны лаборантам за помощь в работе.

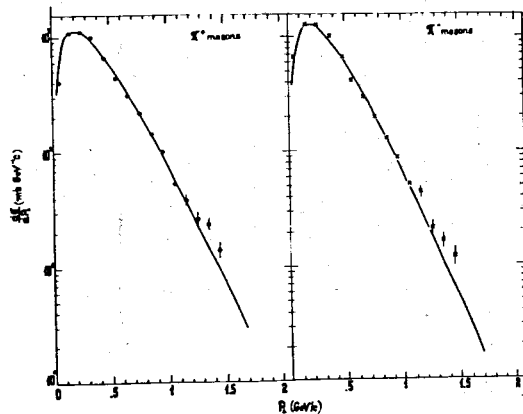


Рис. 9

ЛИТЕРАТУРА

- I. Бухарест-Дубна-Москва-София-Ташкент-Тбилиси-Улан-Батор Сотрудничество, ЯФ, 22, 1026 (1975)
2. С.А.Азимов, В.Г.Гришин и др. ЯФ, 22, 750 (1975)
3. В - В - С - D - H - S - S - T - T - UB - W Collaboration Nucl. Phys. B83, 365 (1974)
4. В - В - С - D - H - S - S - T - T - UB - W Collaboration Phys. Lett., 39B, 371 (1972)
5. С.А.Азимов и др. ЯФ, 22, 1168 (1975).
6. Я.Бэм, В.Г.Гришин и др. Препринт ОИЯИ, P-2842 (1966)
7. K.Gottfried, Phys. Rev. Lett., 32, 957 (1974)
8. P.J.Camillo, P.M.Fishbane, J.S.Trefil. Phys. Rev. Lett., 34, 622 (1975)
9. L.Bertocchi, VI Int. Conf. High Energy Phys. Nucl. Structure, Report IC/75/67 (1975)
10. Т.Я.Иногамова, Б.Н.Калинкин и др. ЯФ, 22, 563 (1975)
11. Chan Hong Mo et al. Phys. Rev. Lett., 26, 672 (1971)
12. В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев, Взаимодействия высокоэнергичных частиц и атомных ядер с ядрами, М., Атомиздат (1972).
13. Л.А.Диденко, В.Б.Любимов, Д.Тувдендорж Препринт ОИЯИ, I-9022 (1975)
14. Б.Н.Калинкин, В.А.Шмонин, ЯФ, 21, 628 (1975).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 мая 1976 года.

Ангелов Н. и др.

PI - 9792

Изучение взаимодействий π^- -мезонов с ядрами углерода при 40 ГэВ/с

В работе представлены импульсные и угловые характеристики π^+ и π^- мезонов, полученные на основе изучения ≈ 3400 взаимодействий π^- -мезонов с ядрами углерода при импульсе 40 ГэВ/с. Наблюдается разница в спектрах π^+ и π^- -мезонов, связанная с присутствием лидирующих отрицательных пионов. Проанализировано отношение структурных функций для π^-N и $\pi^-^{12}C$ -взаимодействий при одинаковых энергиях.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1976

Angelov N. et al.

PI - 9792

Investigation of Interactions of π^- -Mesons with Carbon Nuclei at 40 GeV/c

The momentum and angular distributions of π^+ and π^- -mesons obtained from the analysis of ≈ 3400 interactions of π^- mesons with carbon nuclei at 40 GeV/c are presented. The difference in π^+ and π^- spectra, connected with the presence of leading negative pions, is observed. The ratio of structure functions for π^-N and $\pi^-^{12}C$ interactions at equal energies has been analysed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research

Dubna 1976