

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



P1 - 8566

ИЗУЧЕНИЕ π^- С 12 -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ $p = 40$ ГэВ/С
С ИСПУСКАНИЕМ ПРОТОНОВ НАЗАД
В ЛАБОРАТОРНОЙ СИСТЕМЕ

Сотрудничество: Бухарест - Дубна - Москва -
София - Ташкент - Тбилиси -
Улан-Батор

1975

Ангелов Н. и др. Сотрудничество:
Бухарест-Дубна-Москва-София-Ташкент-
Тбилиси-Улан-Батор

P1 - 8566

Изучение $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий при $p = 40$ ГэВ/с
с испусканием протонов назад в лабораторной системе

С помощью 2-метровой пропановой камеры, облучённой π^{-} -мезонами с $p = 40$ ГэВ/с, проводилось изучение взаимодействий π^{-} -мезонов с углеродом, сопровождающихся испусканием протонов назад в лабораторной системе. Полученные для этих протонов структурные функции $f(p^2) = \frac{1}{\sigma_{\text{tot}}} \frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dp d\Omega}$ не противоречат представлениям об их универсальности относительно изменения сорта налетающих частиц и энергии.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Angelov N. et al.
Bucharest-Dubna-Moscow-Sofia-Tashkent-
Tbilisi-Ulan-Bator Collaboration

P1 - 8566

Study of $\pi^{-12}\text{C}$ Interactions at $p = 40$ GeV/c with
the Backward Proton Emission in Lab. System

The interactions of π^{-} -mesons with carbon, accompanied by protons emitted backward in the lab.system, have been studied by means of the 2 m propane bubble chamber exposed to 40 GeV/c π^{-} -mesons. The structure function $f(p^2) = \frac{1}{\sigma_{\text{tot}}} \frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dp d\Omega}$, obtained for these protons, does not contradict the concepts of its universality relatively the change of the type of incident particles and their energy.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

P1 - 8566

ИЗУЧЕНИЕ $\pi^{-}\text{C}^{12}$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ $p = 40$ ГэВ/с
С ИСПУСКАНИЕМ ПРОТОНОВ НАЗАД
В ЛАБОРАТОРНОЙ СИСТЕМЕ

Сотрудничество: Бухарест - Дубна - Москва -
София - Ташкент - Тбилиси -
Улан-Батор

Направлено в ЯФ

Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин, С.В.Джмухадзе, Л.А.Диденко,¹ И.А.Ивановская, Т.Я.Иногамова, Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая, В.Б.Любимов, Н.Н.Мельникова, В.Ф.Никитина, В.М.Попова,¹ М.Сабэу, А.Н.Соломин,¹ П.М.Суд,² Х.Семерджиев, М.И.Соловьев, Ю.В.Тевзадзе, Д.Тувдендорж, Н.Г.Фадеев, Э.Т.Цивцивадзе, Л.Н.Щеглова,¹ Г.Янчо.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.

О.Балеа, В.Болдеа, Т.Понта, С.Фелеа.

Институт атомной физики, Бухарест.

Г.А.Лексин.

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Н.О.Ахабабян, Л.Грекова, Н.П.Иков, В.Н.Пенев, А.И.Шкловская.

Институт ядерных исследований и ядерной энергетики, София.

С.А.Азимов, К.Р.Игамбердиев, Ш.В.Иногамов, К.Олимов, Т.М.Усманов, А.А.Юлдашев, Б.С.Юлдашев.

Физико-технический институт АН Уз.ССР, Ташкент.

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели, Д.В.Герсамия, М.А.Дасаева, Р.Г.Салуквадзе, М.С.Чергейшвили.

Тбилисский государственный университет, Тбилиси.

Ц.Баатар, Б.Чадраа.

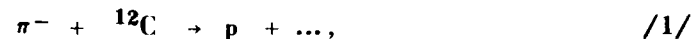
Институт физики и математики МАН, Улан-Батор.

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

² Физический факультет Пенджабского университета.

Изучение взаимодействия адронов и ядер с ядрами представляет большой интерес с точки зрения исследования фундаментальных закономерностей, связанных с локальными свойствами адронной материи. Высказана гипотеза о масштабной инвариантности сильных взаимодействий при столкновении релятивистских ядер и частиц с ядрами^{/1-3/}. В работе^{/2/} наблюдались пионы с энергией, превышающей кинетическую энергию, принадлежащую на один нуклон дейтрона, и показано, что образование таких пионов согласуется с высказанной гипотезой. В дальнейшем эти выводы подтверждены при исследовании кумулятивных мезонов, образованных во взаимодействиях протонов и дейтронов с ядрами при $E = 6 \div 8 \text{ ГэВ}^{/4,5/}$. Ранее, в опытах^{/6/} наблюдались вторичные протоны и дейтроны, связанные с многонуклонными столкновениями. Было показано, что инвариантные структурные функции, описывающие спектры этих протонов, не противоречат предположению о независимости их от начальной энергии для энергий несколько $\text{ГэВ}^{/7/}$. Этот результат был подтвержден в экспериментах^{/8,9/}.

Целью настоящей работы является изучение поведения структурной функции f в реакции



где протон испущен в лабораторной системе координат /л.с.к./ в заднюю полусферу при $p = 40 \text{ ГэВ}/с$. Сравнение структурных функций при $E = 40 \text{ ГэВ}$ и $E = 4-8 \text{ ГэВ}$ представляет интерес с точки зрения проверки масштабных свойств взаимодействий частиц с ядрами

на большом энергетическом интервале /4 ÷ 40 ГэВ/. Кроме того, в данной работе также изучены характеристики гамма-квантов, сопровождающих кумулятивные нуклоны. Взаимодействия π^- -мезонов с углеродом были отобраны и идентифицированы по стандартным критериям /10/, принятым для разделения событий в пропановых пузырьковых камерах *. Характеристики γ -квантов, зарегистрированных в камере, были измерены по e^+e^- -парам. Восстановление геометрических и энергетических параметров γ -квантов производилось по принятой в Сотрудничестве методике /11/.

Для всех найденных протонов был измерен импульс** либо по пробегу, если протон останавливался в объеме камеры, либо по кривизне, когда он выходил из рабочего объема. Идентификация протонов производилась визуально по ионизации. Для надежности идентификации мы ограничились верхним значением импульса протона, равным 700 МэВ/с; нижняя граница взята равной 160 МэВ/с, что соответствует пробегу протона в пропане ≈ 4 мм. Из 17000 π^- C-взаимодействий было отобрано и измерено ≈ 1900 следов протонов, удовлетворяющих этому условию.

Были получены распределения $\frac{E}{p^2} \frac{\Delta N}{\Delta p}$ /здесь

E, p - соответственно полная энергия и импульс протона в л.с.к./ для нескольких выбранных интервалов углов $\Delta\theta_i$ и $\Delta\phi_i / \theta$ - полярный, а ϕ - азимутальный углы вылета протонов/. Эти распределения были пересчитаны в структурные функции:

$$f(p^2) = \frac{1}{\sigma_{tot}} \frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dp d\Omega}$$

* В настоящей работе были использованы результаты, полученные в лабораториях Бухареста, Дубны, Софии, Ташкента, Тбилиси, Улан-Батора.

** Из-за трудностей измерения следов частиц, вылетающих под углами (θ), близкими к 90° , мы ограничились $\theta \geq 110^\circ$.

где σ_{tot} - полное сечение взаимодействия π^- -мезона с ядром углерода. При пересчете использовался коэффициент

$$K = \frac{1}{\Delta p N_{B3} \Delta\Omega_i}$$

Здесь N_{B3} - полное число $\pi^-^{12}C$ -взаимодействий /в том числе и упругих/,

$$\Delta\Omega_i = \int_{\Delta\phi_i} d\phi \int_{\Delta\theta_i} \sin\theta d\theta - \text{телесный угол.}$$

На рис. 1 приведены полученные распределения для интервалов углов θ от 120° до 160° /а/ и от 160° до 180° /б/, углов ϕ от 216° до 324° /а/ и от 180° до 360° /б/. Выбранные углы ϕ соответствуют протонам, испущенным из точек взаимодействий в верхнюю часть камеры, где условия освещения обеспечивают наилучшую надежность идентификации протонов. На рисунке показаны статистические ошибки. Величина ошибок в абсолютной нормировке не превышает /5-10/%. На этом же рисунке приведены результаты работы /8/, полученные в аналогичном эксперименте на ксеноне при энергии первичного π^- -мезона 3,34 ГэВ. Видно, что в сопоставленных интервалах импульсов общий ход кривых приблизительно одинаков. Разница в абсолютных значениях, быть может, отражает зависимость структурной функции от атомного номера. Если принять, как это имеет место в /5/, что $f(p^2) \approx A^{1/3}$, то экспериментальные точки для Хе будут согласовываться в пределах ошибок с нашими данными*.

* Наблюдаемая разница в абсолютных значениях, возможно, связана с большими ошибками. Так, авторы работы /8/ отмечают, что их ошибка в абсолютной нормировке может достигать 50%.

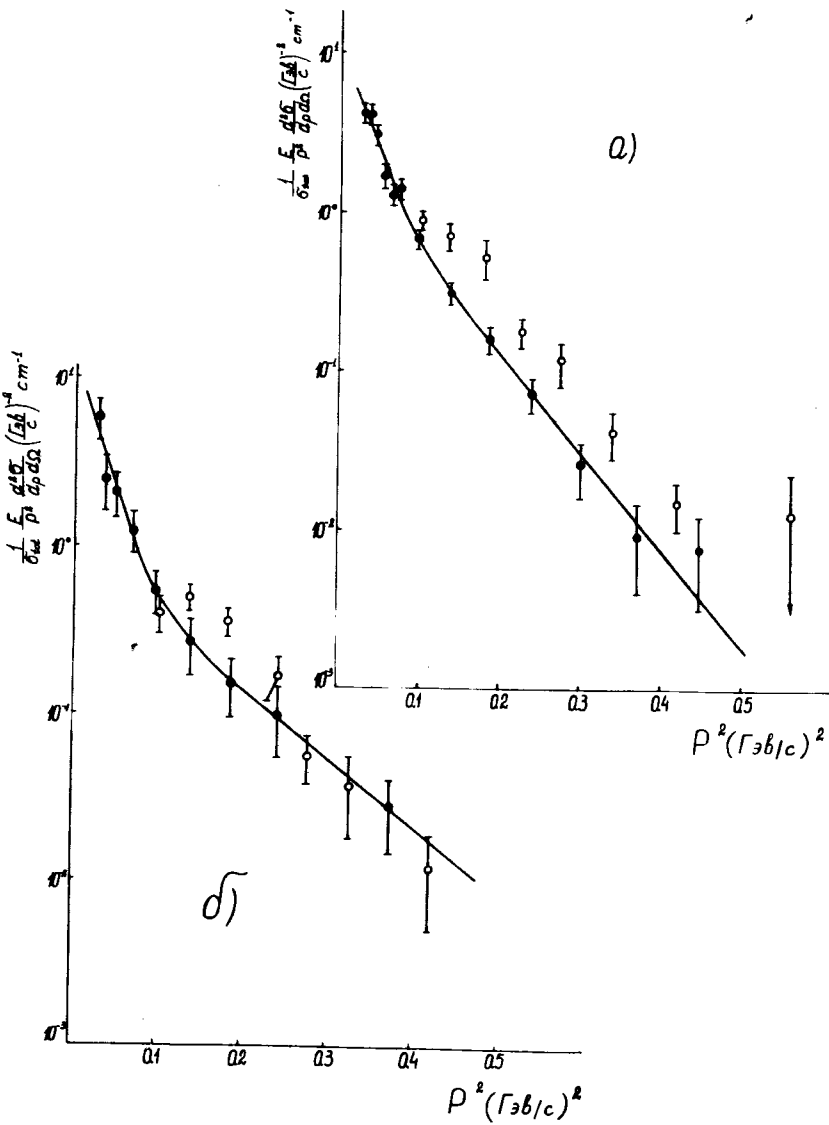


Рис. 1. Функция $f(p)$. Заштрихованные точки - наши данные для $120^\circ \leq \theta \leq 160^\circ$, $216^\circ \leq \phi \leq 324^\circ$ /а/ и $160^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, $180^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$ /б/. Кружочки - данные работы /8/ / $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow p + \dots$, $p_\pi = 3,34$ ГэВ/с/ при $\theta \approx 135^\circ$ /а/ и $\theta \approx 180^\circ$ /б/.

Распределения, показанные на рис. 1, были экстраполированы выражением вида

$$f(p^2) = A_1 e^{-A_2 p^2} + A_3 e^{-A_4 p^2}$$

Полученные значения параметров A_1, A_2, A_3 и A_4 приведены в табл. 1, из которой видно, что наклоны A_2 /для низкоэнергичных протонов, $p \leq 280$ МэВ/с/ не зависят от угла испускания θ . Более полные данные, относящиеся к этим протонам, приведены в табл. 2*

Таблица 1

Результаты экстраполяции распределений, приведенных

на рис. 1, функцией $f(p^2) = A_1 e^{-A_2 p^2} + A_3 e^{-A_4 p^2}$.

θ	χ^2	число точек	$A_1 (\text{ГэВ/с})^{-2} \text{cm}^{-1}$	$A_2 (\text{ГэВ/с})^{-2}$	$A_3 (\text{ГэВ/с})^{-2} \text{cm}^{-1}$	$A_4 (\text{ГэВ/с})^{-2}$
$120^\circ-160^\circ$	6.5	13	11.9 ± 4.0	45.3 ± 11.9	2.0 ± 0.8	14.0 ± 1.7
$160^\circ-180^\circ$	1.6	9	13.2 ± 8.2	43.6 ± 16.4	0.8 ± 0.6	9.1 ± 2.9
$120^\circ-180^\circ$	7.9	13	13.2 ± 5.3	49.6 ± 13.1	2.0 ± 0.7	13.9 ± 1.6

Таблица 2

Параметры A_1 и A_2 /низкоэнергичные протоны, $0^\circ < \phi < 360^\circ$

θ	$A_1 (\text{ГэВ/с})^{-2} \text{cm}^{-1}$	$A_2 (\text{ГэВ/с})^{-2}$
$110^\circ-140^\circ$	10.0 ± 2.5	42.7 ± 11.1
$140^\circ-160^\circ$	17.8 ± 6.2	50.3 ± 10.8
$160^\circ-180^\circ$	14.6 ± 8.9	51.3 ± 17.6
$110^\circ-180^\circ$	12.4 ± 2.4	45.7 ± 7.2

* При получении этих результатов использованы протоны, вылетающие под углом ϕ от 0° до 360° , причем также введена поправка, учитывающая зависимость эффективности регистрации протона от геометрических условий.

Наклоны A_4 /для высокоэнергичных протонов, $p \geq > 280 \text{ МэВ/с/}$, возможно, имеют тенденцию к уменьшению с увеличением угла θ . Этот эффект, скорее всего, связан со случаями, в которых назад в л.с.к. испускаются одновременно два протона /см. табл. 3/.

Таблица 3

Параметр $A_4 / \text{ГэВ/с}^{-2}$ для случаев с одним протоном, испущенным назад в л.с.к., и для случаев с двумя протонами

θ	Случаи с одним протоном	Случаи с двумя протонами
$110^\circ - 140^\circ$	14.7 ± 2.3	17.2 ± 2.1
$140^\circ - 160^\circ$	18.2 ± 2.7	9.3 ± 3.5
$160^\circ - 180^\circ$	11.2 ± 3.2	7.1 ± 4.0
$110^\circ - 180^\circ$	15.0 ± 1.5	14.9 ± 1.5

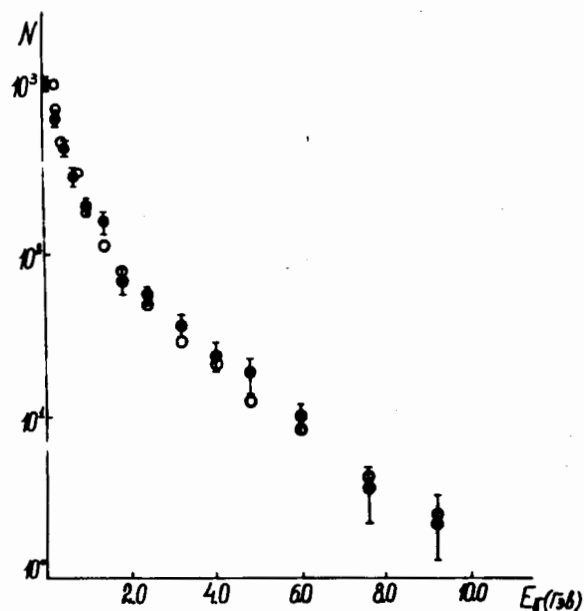


Рис. 2. Спектр γ -квантов для реакции /1/ /заштрихованные точки/ и для всех π -С-взаимодействий /кружочки/.

Таблица 4
Данные по наклонам /параметр A_4 / из работы /8/

Реакция	Импульс первичной частицы (ГэВ/с)	θ	$A_4 (\text{ГэВ/с})^{-2}$
$p + \text{Cu} \rightarrow \bar{p} + \dots$	$1 \div 6$	137°	11.5 ± 0.7
$p + \text{C} \rightarrow \bar{p} + \dots$		$\approx 135^\circ$	13.5 ± 1.5
$\pi^- + \text{Xe} \rightarrow \bar{p} + \dots$	3.34	$\approx 180^\circ$	11.2 ± 1.7

В табл. 4 суммированы результаты работы /8/ при энергиях 1-6 ГэВ . Эти данные не отличаются в пределах ошибок от полученных нами для высокоэнергичных протонов. Близки к ним и результаты опытов, которые выполнены на электронных ускорителях /12/ при исследовании спектров протонов, испущенных из углеродной мишени под углом $\approx 120^\circ$ /первичная энергия 1 ГэВ /. Таким образом, вся совокупность отмеченных данных вместе с нашими результатами не противоречит представлениям об универсальности функции $f(p^2)$ относительно изменения сорта налетающих частиц и энергии при изменении ее в широком интервале.

Если считать, что наблюдаемые протоны испускаются в результате испарения нагретого ядра, то протоны второй группы / $p \geq 280 \text{ МэВ/с}$ / будут соответствовать слишком большим "температурам" / $\approx 35-40 \text{ МэВ}$ /. Это указывает на специфический механизм их образования, связанный с большими передачами энергии.

К аналогичному выводу пришли авторы работ /13, 14/ при исследовании спектров легких осколков от взаимодействий протонов с энергией 1 и 5,5 ГэВ с ядрами серебра и урана. Возможно, мы имеем дело здесь с взаимодействием налетающего π^- -мезона с несколькими нуклонами ядра углерода одновременно, другими словами, с эффектом, аналогичным кумулятивному.

Интересно было бы сравнить характеристики событий, имеющих медленные или быстрые протоны, испущенные назад в л.с.к., с характеристиками всех $\pi^{-12}\text{C}$ -взаим-

Таблица 5
Средние характеристики γ -квантов

	Реакция (1)			Все π -взаимодействия
	Протон испущен с $p < 280 \text{ МэВ/с}$	Протон испущен с $p > 280 \text{ МэВ/с}$	Все события (1)	
$\langle P_{\gamma} \rangle (\text{МэВ/с})$	1357 ± 121	1462 ± 163	1412 ± 100	1220 ± 41
$\langle P_{\Pi} \rangle (\text{МэВ/с})$	1316 ± 121	1420 ± 161	1370 ± 99	1175 ± 42
$\langle P_{\perp} \rangle (\text{МэВ/с})$	176 ± 9	186 ± 28	182 ± 14	173 ± 3

модействий. Мы использовали для этого информацию о γ -квантах, она приведена в табл. 5. Видно, что по средним характеристикам γ -квантов указанные группы событий практически не отличаются друг от друга. Не отличаются спектры γ -квантов из событий типа /1/ и всех π^- С-взаимодействий*.

Полученные результаты показывают, что наклоны нормированной структурной функции $f(p^2)$ для фрагментации протонов назад в л.с.к. из легких ядер /с импульсом $> 300 \text{ МэВ/с}$ / не зависят от первичной энергии, начиная с $E \approx 1,0 \text{ ГэВ}$.

Имеются указания на независимость структурной функции от сорта налетающей частицы. В абсолютной нормировке имеющихся данных есть большая неопределенность. Поэтому о зависимости самой структурной функции от энергии пока судить еще рано. Можно думать, что для реакции /1/ масштабная инвариантность наступает уже при $E \approx 1 \text{ ГэВ}$.

Нам приятно поблагодарить А.М.Балдина за полезные обсуждения и интерес к работе, В.С.Ставинского и В.Б.Радоманова за обсуждения и помощь. Один из авторов /Г.А.Лексин/ благодарен Л.С.Воробьеву, В.Б.Гаврилову, В.Л.Столину за обсуждения. Авторы благодарят лаборантов, выполнивших большой объем работ по просмотру и измерениям.

* Сюда не включены взаимодействия на квазисвободных нуклонах ядра углерода.

Литература

1. А.М.Балдин. Краткие сообщения по физике, № 1, стр. 35. АН СССР, 1971.
2. А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев и др. Препринт ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971; Proc. XVI Intern. Conf. on High Energy Physics, Chicago-Batavia, v. 1, p. 27, 1972.
3. А.М.Балдин. Препринт ОИЯИ, Д1-7411, Дубна, 1973.
4. А.М.Балдин, С.Б.Герасимов, Н.Гиордэнеску и др. ЯФ, т. 18, в. 1 /1973/.
5. А.М.Балдин, В.К.Бондарев, Н.Гиордэнеску и др. Препринт ОИЯИ, 1-8249, Дубна, 1974; Препринт ОИЯИ, E1-8054, Дубна, 1974.
6. Ю.Д.Баюков, Л.С.Воробьев, Г.А.Лексин и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 521 /1966/; ЯФ, 5, 387 /1967/.
7. Ю.Д.Баюков, Л.С.Воробьев, Г.А.Лексин и др. Препринт ОИЯИ, Д1, 2-7411, 472, Дубна, 1973; ЯФ, 18 /6/, 1246 /1973/.
8. Ю.Д.Баюков, Л.С.Воробьев, Г.А.Лексин и др. ЯФ, 19/6/, 1266 /1974/.
9. А.В.Арефьев, Д.Ю.Баюков, В.Б.Гаврилов и др. Письма в ЖЭТФ, т. 20, в. 8, 585-587 /1974/.
10. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов и др. Сообщения ОИЯИ, P1-6326, Дубна, 1972.
11. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов и др. Сообщения ОИЯИ, P1-6928, Дубна, 1973.
12. Ю.П.Антуфьев и др. УФЖ, 14, 499 /1969/.
13. Е.Н.Вольнин, А.А.Воробьев, Д.М.Сильвестров. Письма в ЖЭТФ, 19 /11/, 691 /1974/.
14. E.K.Hyde, G.W.Butler, A.M.Poskanzer. Phys.Rev., C3, 882 (1971); Phys.Rev., C4, 1759 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 января 1975 года.