

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4907 82

P1-82-534

В.Г.Гришин, З.Корбел, М.М.Муминов,
Л.М.Мусалова, И.Сувонов, З.Трка, Я.Тркова,
П.Холан, П.Яничко

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ НЕЙТРОНОВ
В π^-p -, π^-n -, $\pi^-^{12}\text{C}$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ $P=40$ ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование взаимодействий π^- -мезонов с $p=40$ ГэВ/с с помощью 2-метровой пропановой (C_3H_8) пузырьковой камеры позволяет, как было показано в ^{/1/}, получить характеристики вторичных нейтронов в π^-p -, π^-n -, $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях.

Для этой цели среди первичных взаимодействий π^- -мезонов:

$$\pi^- + p \rightarrow x, \quad /1/$$

$$\pi^- + n \rightarrow x, \quad /2/$$

$$\pi^- + {}^{12}C \rightarrow x, \quad /3/$$

необходимо выделить каналы с образованием нейтронов:

$$\pi^- + p \rightarrow n + x, \quad /1a/$$

$$\pi^- + n \rightarrow n + x, \quad /2a/$$

$$\pi^- + {}^{12}C \rightarrow kn + x, \quad k \geq 1. \quad /3a/$$

^{/1/} были получены данные по среднему числу нейтронов $\langle N_n \rangle$ на одно взаимодействие. В настоящей работе на большем статистическом материале получены $\langle N_n \rangle$ и импульсные спектры нейтронов. Сначала /раздел 2/ излагается процедура получения набора первичных взаимодействий /1/-/3/ и характеристик быстрых вторичных нейтронов $p_n \geq 1$ ГэВ/с с учетом фона от других нейтральных частиц и методических поправок. В разделе 3 приводятся физические результаты.

2. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Для регистрации событий /1/-/3/ и для поиска вторичных звезд, вызванных нейтральными частицами /0 - звезды/, были дважды просмотрены стереоснимки с двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной пучком π^- -мезонов при $p=40$ ГэВ/с. Всего было просмотрено 37809 рабочих кадров и найдено 11651 первичное взаимодействие. Эти события были по общепринятым критериям ^{/2/} разделены по типам $N(i)$, где $i=1,2,3$ соответствует реакциям /1/, /2/, /3/ /табл.1/ *.

* В π^-p -взаимодействиях часть событий $i=3$ /3/ связана с квазисвободными протонами ядра углерода

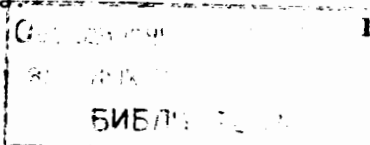


Таблица 1

Статистика событий

Тип взаимодействия	$N(i)$	$N_0(i)$
$\pi^- p$	5422 \pm 74	206 \pm 14
$\pi^- n$	2036 \pm 45	64 \pm 8
$\pi^- ^{12}C$	8615 \pm 93	476 \pm 22
Все события	11651 \pm 108	587 \pm 24

На этих же рабочих кадрах было найдено 587 вторичных взаимодействий /0 - звезд/ с числом заряженных лучей $N_{ch} \geq 3$. Они были по типу первичного взаимодействия распределены по $N_0(i)$, $i = 1, 2, 3$ /табл.1/.

Для каждой вторичной нейтральной звезды измерялся полный импульс заряженных частиц (p_{ch}). Кроме того, определялась эффективная длина пробега (L) нейтральной частицы, вызвавшей 0-звезду, от первичного взаимодействия до пересечения с границей эффективной области в камере.

Полный импульс всех вторичных частиц в 0-звезде p_n оценивался по формуле

$$p_n = 1,5 \times p_{ch} \quad /4/$$

Часть 0-звезд с $N_{ch} = 3$ /по нашим данным $\approx 53\%$ / являются столкновениями со свободными протонами. В связи с этим для них использовались экспериментальные данные по пр-взаимодействиям /4/.

$$p_n = F(p_{ch}) \quad /5/$$

Расчеты, сделанные по формуле /4/ и с использованием комбинации /4/ + /5/, дали результаты, совпадающие в пределах статистических ошибок. Поэтому в дальнейшем приводятся все данные по варианту /4/.

Среди зарегистрированных 0-звезд имеются фоновые события $N_{\phi}(i, p_n)$:

$$N_{\phi}(i, p_n) = N_{(0)}(i, p_n) + N_S(i, p_n) \quad /6/$$

где $N_{(0)}(i, p_n)$ - число зарегистрированных 0-звезд, вызванных нейтральными частицами, не связанными с событиями /1/-/3/, и $N_S(i, p_n)$ - число 0-звезд, вызванных взаимодействиями Λ^- , K_S^- , K_L^- - частиц / $\bar{\Lambda}$ - гипероны составляют $\leq 10\%$ от Λ^- -частиц /6/.

Для определения $N_{(0)}(i, p_n)$ на стереоснимках без первичных взаимодействий / ~ 10000 кадров/ было найдено 39 событий типа 0-звезд. Отсюда был сделан вывод, что они составляют $\sim 3\%$ от N_0 .

Число звезд, вызванных нейтральными странными частицами, оценивалось по формуле

$$N_S(i, p_n) = N(i) \langle N'_S(i, p_n) \rangle \langle Q_S(p_n) \rangle \quad /7/$$

где $\langle N'_S(i, p_n) \rangle$ - среднее число странных частиц с импульсом p_n на одно взаимодействие типа i /взято из работы /5/ и $\langle Q_S(p_n) \rangle$ - вероятность того, что частица S с импульсом p_n образовала в эффективной области камеры 0-звезду с $N_{ch} \geq 3$. Сечения взаимодействия S -частиц на водороде взяты из работ /6,7/. Для сечения взаимодействия S -частиц на углероде взято соотношение /8/:

$$\sigma_{hC} = 9,7 \sigma_{hH} \quad /8/$$

Отсюда было получено число зарегистрированных нейтронов $N'_n(i, p_n)$:

$$N'_n(i, p_n) = N_0(i, p_n) - N_{\phi}(i, p_n) \quad /9/$$

Для определения полного числа вторичных нейтронов в /1/-/3/ были введены геометрические веса w_n :

$$w_n = 1/(1 - e^{-l}), \quad l = L/L_n \quad /10/$$

где L_n - длина свободного пробега нейтрона. Величина L_n вычислялась с учетом сечений взаимодействий нейтронов с ядрами водорода /4,9/ и с ядрами углерода /8/.

Веса w_n вычислялись для всех $N_0(i, p_n)$, и определялся средний вес $\langle w_n(i, p_n) \rangle$. В результате были получены значения

$$N_n(i, p_n) = N'_n(i, p_n) \langle w_n(i, p_n) \rangle \quad /11/$$

Полные числа нейтронов $N_n(i)$ вместе с $N(i)$ приведены в табл.2.

Полученный нами экспериментальный материал по 0-звездам позволяет ввести поправки к распределениям событий по типам первичных взаимодействий /1/-/3/.

Были найдены взаимодействия

$$\pi^- + (N) \rightarrow p + n + x \quad /12/$$

где p - идентифицированный протон в первичном взаимодействии.

Такие события естественно отнести к взаимодействиям пионов с ядром углерода. Всего было найдено 25 взаимодействий /12/ среди реакций /1/ и 3 - среди /2/. Они составляют незначительную долю от числа событий /1/ и /2/, но с учетом веса - 7% от событий /1a/ и 3% - от /2a/.

Учет двойных 0-звезд /10 событий типа /1/, /2// привел к поправке того же порядка, как события /12/. Числа первичных событий $N(i)$ и числа нейтронов $N_n(i)$ с учетом указанных поправок приведены в табл.2 /п-поправки/.

Кроме того, вводились поправки к распределению взаимодействий по типам i , связанные с потерями медленных протонов при

Таблица 2

Статистика событий с учетом весов и поправок

Тип взаимодействия	N(i)	N _n (i)	R - поправки		N _n (i)
			N(i)	N _n (i)	
π ⁻ p	5422±74	1694±220	5195±72	1467±191	1422±185
π ⁻ n	2036±45	753±151	1999±45	716±144	613±125
π ⁻ ¹² C	8615±98	4878±602	8742±98	5005±496	5080±500

просмотре^{1/}. Числа N(i) и N_n(i) с учетом этих поправок приведены в табл.2 /р -поправки/.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Исходя из полученных значений N(i) и N_n(i) с учетом поправок, мы определили среднее число нейтронов на одно взаимодействие:

$$\langle N_n^f(i) \rangle = N_n(i)/N(i). \quad /13/$$

Среднее число $\langle N_n^f(i) \rangle$ на самом деле относится к быстрым нейтронам / $p_n \geq 1$ ГэВ/с/. Это связано с методикой регистрации 0-звезд / $N_{ch} \geq 3$ /. В программе обработки 0-звезд введен порог для $p_n \geq 1$ ГэВ/с. Значения $\langle N_n^f(i) \rangle$ приведены в табл.3.

Чтобы найти среднее число всех нейтронов на одно взаимодействие $\langle N_n(i) \rangle$, мы должны учесть среднее число медленных нейтронов с $p_n < 1$ ГэВ/с. Из экспериментальных данных работы^{10/} с учетом геометрических и методических поправок найдено

$$\frac{N(\pi^- n \rightarrow p + x, p_p < 1 \text{ ГэВ/с})}{N(\pi^- n)} = 9\%$$

$$\frac{N(\pi^- p \rightarrow p + x, p_p < 1 \text{ ГэВ/с})}{N(\pi^- p)} = 27\%$$

Исходя из этих данных, можно получить

$$\langle N_n(1) \rangle = \langle N_n^f(1) \rangle + 0,09,$$

$$\langle N_n(2) \rangle = \langle N_n^f(2) \rangle + 0,27.$$

Для событий /3/ предполагается одинаковый выход медленных нейтронов и протонов на одно взаимодействие. В результате получено^{10/}:

$$\langle N_n(3) \rangle = \langle N_n^f(3) \rangle + 0,75.$$

Таблица 3

Средние значения $\langle N_n(i) \rangle$ и $\langle P_n(i) \rangle$

Тип взаимодействия	$\langle N_n^f(i) \rangle$	$\langle N_n(i) \rangle$	$\langle P_n^f(i) \rangle$	$\langle P_n(i) \rangle$
π ⁻ p	0,28±0,04	0,37±0,04	2,8±0,2	2,2±0,1
π ⁻ n	0,36±0,07	0,63±0,07	2,6±0,3	1,7±0,2
π ⁻ ¹² C	0,57±0,06	1,32±0,06	3,2±0,1	1,7±0,1

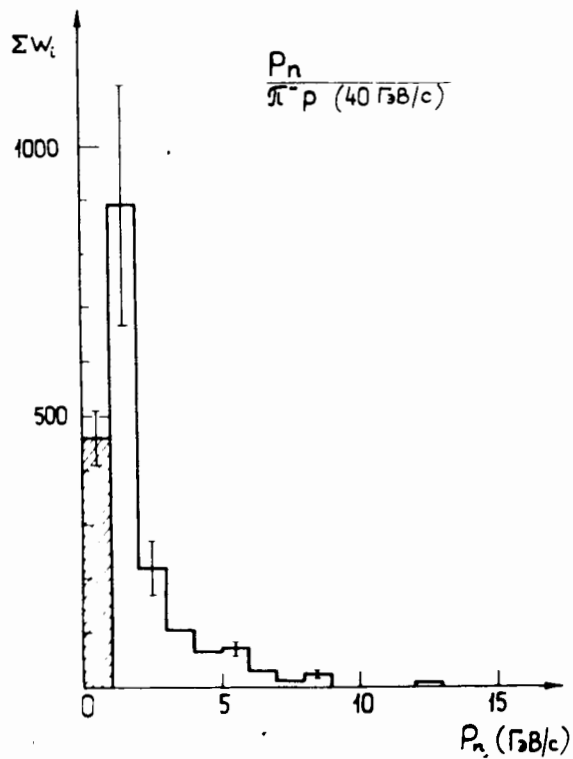


Рис.1. Распределение нейтронов по импульсам в π^-p -взаимодействиях при $p=40$ ГэВ/с.

Полные средние числа нейтронов $\langle N(i) \rangle$ приведены в табл.3. Коэффициенты перезарядки, полученные по этим данным для процессов /1/, /2/, соответственно равны

$$\alpha(p \rightarrow n) = 0,37 \pm 0,04,$$

$$\alpha(n \rightarrow p) = 0,37 \pm 0,07,$$

а их соотношение

$$\beta = \alpha(p \rightarrow n) / \alpha(n \rightarrow p) = 1,00 \pm 0,22.$$

Эти результаты находятся в хорошем согласии с данными работы /1/. В работе /11/ были определены средние числа быстрых протонов $\langle p \geq 0,7 \text{ ГэВ/с} \rangle$ на одно взаимодействие $\langle N_p^f(i) \rangle$ для событий /1/ и /2/ при $p=40$ ГэВ/с по числу вторичных π^- -мезонов

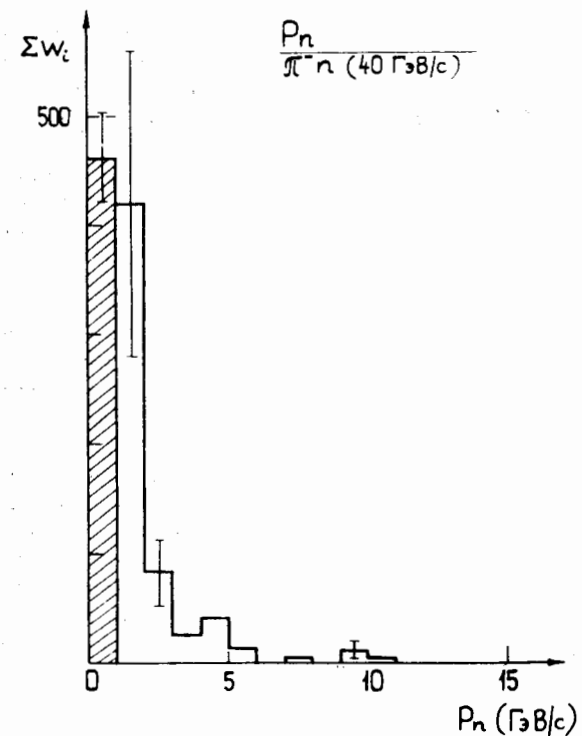


Рис.2. Распределение нейтронов по импульсам в π^-n -взаимодействиях при $p=40$ ГэВ/с.

$\langle N_p^f(1) \rangle = 0,40 \pm 0,04$; $\langle N_p^f(2) \rangle = 0,25 \pm 0,03$. Для сравнения данных по быстрым нуклонам используем соотношения

$$\langle N_p^f(1) \rangle = \langle N_n^f(2) \rangle,$$

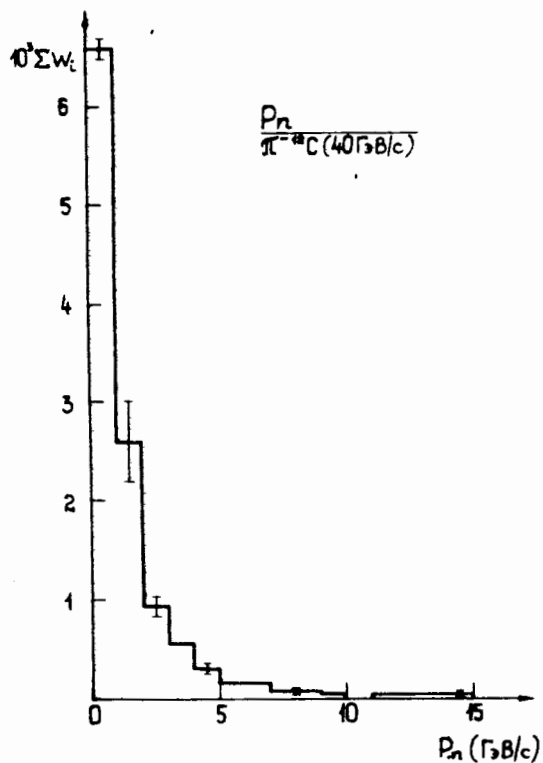
$$\langle N_n^f(1) \rangle = \langle N_p^f(2) \rangle.$$

Вводя поправку в $\langle N_n^f(i) \rangle$ на число нейтронов в интервале $p_n = 0,75 - 1$ ГэВ/с, получим

$$\langle N_p^f(1) \rangle / \langle N_n^f(2) \rangle = 0,98 \pm 0,21,$$

$$\langle N_p^f(2) \rangle / \langle N_n^f(1) \rangle = 0,86 \pm 0,14.$$

На рис.1,2,3 приводятся полученные импульсные спектры нейтронов для π^-p -, π^-n - и $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий. Для интервалов импульсов $p_n = 0 \div 1$ ГэВ/с использовались данные по протонам с $p_p \leq 0,7$ ГэВ/с.



Фиг.3. Распределение нейтронов по импульсам в $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при $p=40$ ГэВ/с.

В табл.3. приводятся средние значения импульсов быстрых нейтронов $\langle p_n^f(i) \rangle$ и всех нейтронов $\langle p_n(i) \rangle$.

Как и ожидалось, спектр нейтронов от перезарядки ($p \rightarrow n$) в /1/ является более жестким, чем в /2/.

Авторы признательны участникам сотрудничества по исследованию множественных процессов на 2-метровой пропановой пузырьковой камере за полезные обсуждения и помощь в работе. Нам приятно поблагодарить лаборантов ЛВЗ ОИЯИ, кафедры ядерной физики математико-физического факультета Карлова университета /Прага/ и Самаркандского государственного университета за просмотр и измерение снимков событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1979, 30, с. 1548.
2. Абдурахимов А.У. и др. ЯФ, 1978, 18, с. 548.
3. Бацкович С. и др. ЯФ, 1977, 25, с. 591; 1977, 26, с. 1034.
4. Abdiovaliev A. et al. Nucl. Phys., 1975, B99, p. 445.
5. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1976, 24, с. 732.
6. Flaminio V. et al. CERN-HERA, 79-02, Geneva, 1979.
7. Benary O. et al. UCRL-20000 YN, Berkeley, 1970.
8. Abdrahmanov E.O. et al. Z. Physik, 1980, C5, p.1.
9. Flaminio V. et al. CERN-HERA 79-03, Geneva, 1979.
10. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1975, 21, с. 328; 1978, 28, с. 688.
11. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1982, 36, с. 426.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июля 1982 года.

Гришин В.Г. и др. P1-82-534
Характеристики вторичных нейтронов в π^-p- , π^-n- , $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при $p=40$ ГэВ/с

Получены импульсные спектры вторичных нейтронов $/p_n \geq 1$ ГэВ/с в π^-p- , π^-n- , $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при $p=40$ ГэВ/с по характеристикам вторичных нейтральных звезд, вызванных нейтронами и зарегистрированных в 2-метровой пропановой пузырьковой камере. Средние значения импульсов нейтронов $\langle p_n \rangle$ составляют: $2,2 \pm 0,1$; $1,7 \pm 0,2$; $1,7 \pm 0,1$ ГэВ/с соответственно для π^-p- , π^-n- , $\pi^-^{12}\text{C}$ -соударений. Средние числа нейтронов $\langle N_n \rangle$ на одно взаимодействие оказались равными: $\langle N_n(\pi^-p) \rangle = 0,37 \pm 0,04$, $\langle N_n(\pi^-n) \rangle = 0,63 \pm 0,07$ и $\langle N_n(\pi^-^{12}\text{C}) \rangle = 1,32 \pm 0,06$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Grishin V.G. et al. P1-82-534
Characteristics of the Secondary Neutrons in π^-p- , π^-n- and $\pi^-^{12}\text{C}$ Interactions at $p=40$ GeV/c

Distributions of neutron momenta ($p_n \geq 1$ GeV/c) have been obtained in π^-p- , π^-n- and $\pi^-^{12}\text{C}$ -interactions at 40 GeV/c by means of studying secondary neutral stars induced by neutrons in 2m propane bubble chamber. The following values of the mean neutron momenta have been obtained: $\langle p_n \rangle = 2,2 \pm 0,1$; $1,7 \pm 0,2$; $1,7 \pm 0,1$ GeV/c in above mentioned reactions. The average numbers of neutrons have also been estimated: $\langle N_n(\pi^-p) \rangle = 0,37 \pm 0,04$; $\langle N_n(\pi^-n) \rangle = 0,63 \pm 0,07$ and $\langle N_n(\pi^-^{12}\text{C}) \rangle = 1,32 \pm 0,06$.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.