

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 425

P1-88-196

Р.Н.Бекмирзаев¹, И.А.Ивановская,
М.М.Муминов¹, С.Прокопиева²

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ
И УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОНОВ
ИЗ nC - И nTa - ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

¹Самаркандский государственный университет

²Высший машинно-электротехнический институт,
Варна, НРБ

1. ВВЕДЕНИЕ

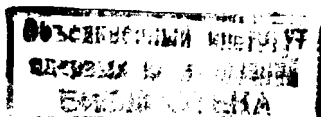
Для анализа ядро-ядерных взаимодействий важно знать характеристики вторичных частиц, образующихся при столкновении с ядром-мишенью как первичных протонов, так и нейтронов. Однако экспериментальных данных по нейтрон-ядерным взаимодействиям очень мало. В работах ¹⁻⁴/нами исследовались множественности π^- -мезонов и протонов, а также импульсные и угловые характеристики π^- -мезонов, рождающихся при соударении нейтронов с ядрами углерода и тантала при импульсах $1,7 \div 5$ ГэВ/с. Настоящая работа является продолжением этих исследований и посвящена изучению импульсных и угловых характеристик протонов в этих взаимодействиях. Проводится сравнение экспериментальных данных с расчетами по модели внутриядерного каскада ДКМ ^{5,6}/, разработанной в Дубне.

2. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Экспериментальный материал был получен с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры, в рабочий объем которой помещались 3 танталовые пластинки толщиной 1 мм на расстоянии 93 мм друг от друга. Камера находилась в магнитном поле напряженностью 1,5 Тл и была облучена на синхрофазотроне ОИЯИ ядрами дейтерия с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон.

Все зарегистрированные в камере взаимодействия были измерены на полуавтоматах САМЕТ и обчислены по программе геометрической реконструкции. Средняя ошибка в измерении углов составляла 0,01 рад, а средняя относительная ошибка в определении импульса по кривизне трека в магнитном поле - 12%. Импульсы протонов в интервале 200÷500 МэВ/с определялись по пробегу в пропане, и ошибка этих измерений не превышала 2%. Протоны с такими импульсами составляют приблизительно половину общего числа протонов.

Протоны с импульсами меньше 200 МэВ/с поглощались в танталовых пластинках и не регистрировались. В импульсном интервале $p < 1$ ГэВ/с протоны и π^+ -мезоны идентифицировались по ионизации и пробегу. Анализ спектров протонов и π^+ -мезонов в π - π и π -Ta-взаимодействиях показал, что в области $p > 1$ ГэВ/с доля



π^+ -мезонов среди положительных частиц составляет не более $1 \pm 2\%$, поэтому все положительные частицы с $p > 1$ ГэВ/с считались протонами. Для π Та-взаимодействий были введены поправки на потерю протонов, вылетающих под углом $\sim 90^\circ$ к направлению пучка и останавливающихся в пластине, а также на потерю протонов, вылетающих под большим углом к плоскости фотографирования. Метод введения поправок аналогичен тому, который использовался для π^- -мезонов^{/7/}. Эти поправки различны в разных импульсных и угловых интервалах. Суммарная поправка составила 16%. При определении импульсов протонов учитывалась потеря ими части энергии при прохождении танталовой пластинки.

Все распределения и средние характеристики получены для протонов с импульсом $p > 300$ МэВ/с, так называемых протонов-участников взаимодействия, так как среди протонов с $p < 300$ МэВ/с большую часть составляют протоны-спектаторы ядра-мишени, или так называемые испарительные протоны.

Взаимодействия дейтронов с ядрами углерода выделялись из всех взаимодействий с пропаном /C₃H₈/ по критериям, описанным в^{/8/}. Процедура выделения π С- и π Та-взаимодействий из всех dС- и dТа-соударений по протонам-спекторам подробно описана в работе^{/3/}.

Предсказания каскадной модели ДКМ для π С-взаимодействий получены с помощью моделированных dС-столкновений, в которых требовалось присутствие протона-спектатора.

Для анализа в работе использовано 8263 d(C₃H₈)-взаимодействия, 1074 dТа-взаимодействия и 17600 моделированных dС-взаимодействий.

3. ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В π С- И π Та-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

На рис.1 представлены импульсные спектры протонов из π С- и π Та-взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с. Спектры нормированы на одно событие. Видно, что при взаимодействии с тяжелым ядром /Та/ значительно возрастает число медленных протонов с импульсом $p < 500$ МэВ/с и уменьшается число быстрых протонов с импульсом $p > 2,5$ ГэВ/с по сравнению с взаимодействиями с легким ядром /С/. Каскадная модель ДКМ удовлетворительно описывает спектр протонов из π С-взаимодействий в области $0,3 < p < 3,0$ ГэВ/с. В области больших импульсов / $p > 3,0$ ГэВ/с/ каскадная модель предсказывает меньше протонов / $3,1\% \pm 0,2\%$ /, чем их наблюдается в эксперименте / $6,4\% \pm 0,7\%$ /.

На рис.2 приведены угловые распределения протонов из π С- и π Та-взаимодействий / θ - угол вылета протона по отношению

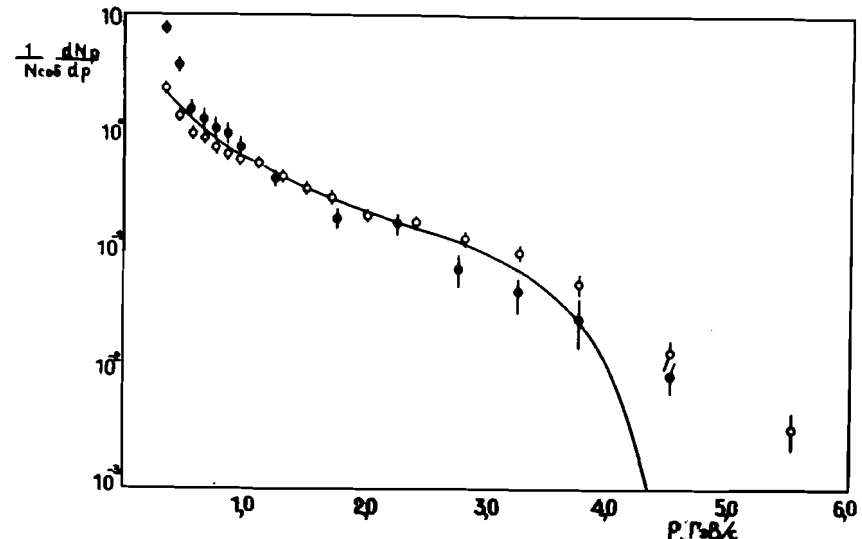


Рис.1. Импульсные спектры протонов: о - из π С-взаимодействий, • - из π Та-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ / π С/.

к первичному нейтрону/. Распределение протонов, образованных в π Та-взаимодействиях, значительно шире, чем в π С-взаимодействиях. Это указывает на существенную роль вторичных перерассеяний протоном в тяжелом ядре. Каскадная модель удовлетворительно описывает угловое распределение протонов из π С-взаимодействий, однако несколько занижает количество протонов, вылетающих под малыми углами / $< 10^\circ$ /.

На рис.3 представлены распределения протонов из π С- и π Та-столкновений по быстроте у. Рис.3б показывает отношение этих распределений, нормированных на одно взаимодействие. Видно, что с ростом атомного веса ядра-мишени значительно

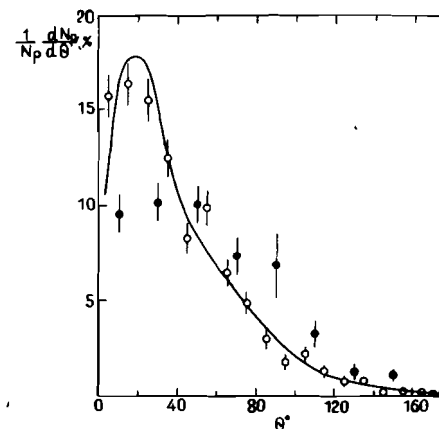


Рис.2. Угловые распределения протонов: о - из π С-взаимодействий, • - из π Та-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ / π С/.

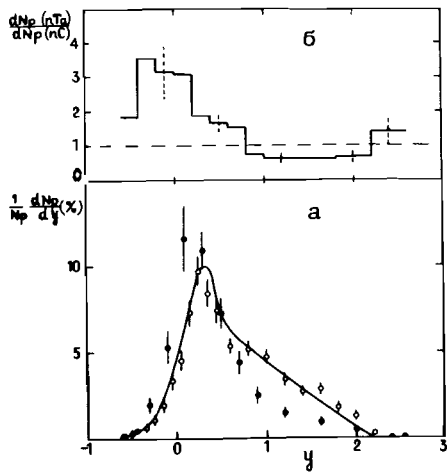
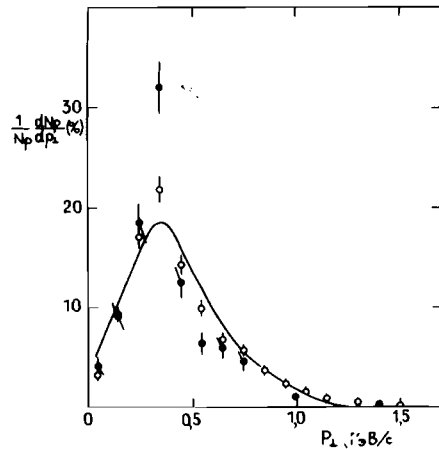


Рис.3. а - распределения протонов по быстроте: \circ - из пС-взаимодействий, \bullet - из пТа-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ /пС/; б - отношение распределений для пТа- и пС-взаимодействий, нормированных на одно взаимодействие.

Рис.4. Распределения протонов по поперечному импульсу: \circ - из пС-взаимодействий, \bullet - из пТа-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ /пС/.



увеличивается число протонов в области фрагментации ядра-мишени, ДКМ хорошо описывает распределение протонов из пС-взаимодействий по быстроте.

На рис.4 и 5 приведены распределения протонов, образованных в пС- и пТа-столкновениях, по поперечному импульсу p_{\perp} и по квадрату поперечного импульса. Они показывают, что уменьшение среднего поперечного импульса протонов с ростом атомного веса ядра-мишени происходит за счет появления большого числа протонов с малыми поперечными импульсами ($p_{\perp} < 0,4$ ГэВ/с), в области $p_{\perp}^2 > 0,2$ (ГэВ/с)² распределения протонов из пС- и пТа-взаимодействий по p_{\perp}^2 практически совпадают. ДКМ описывает распределение протонов по p_{\perp}^2 только до $p_{\perp}^2 \approx 1,0$ (ГэВ/с)². В эксперименте наблюдается значительно больше протонов с $p_{\perp}^2 > 1,0$ (ГэВ/с)², чем предсказывает модель (эксперимент - $1/4,4 \pm 0,6\%$, ДКМ - $1/1,9 \pm 0,2\%$).

На рис.6 и 7 представлены распределения протонов из пС- и пТа-столкновений в системе центра масс нуклон - нуклон по фейнмановской переменной x и по косинусу угла вылета относительно направления движения первичных нейтронов $\cos\theta^*$. Эти распре-

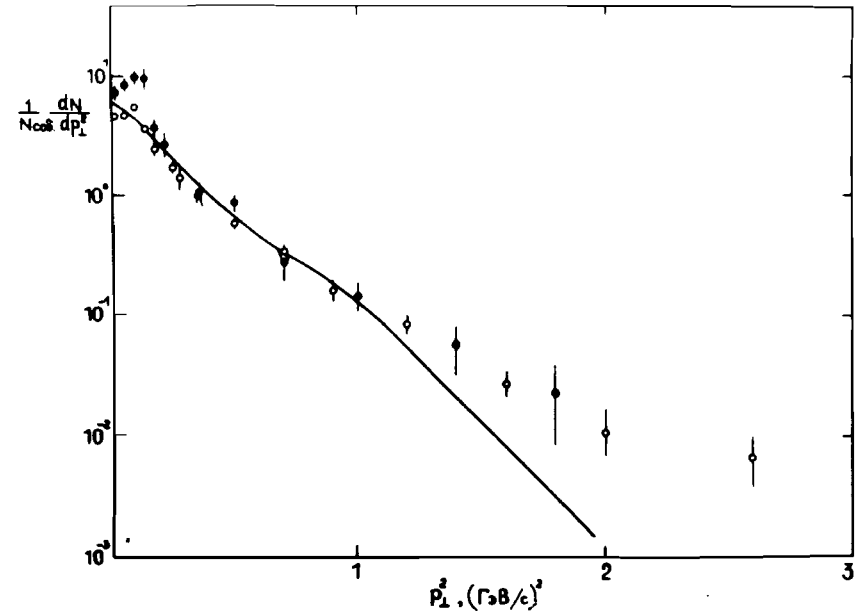
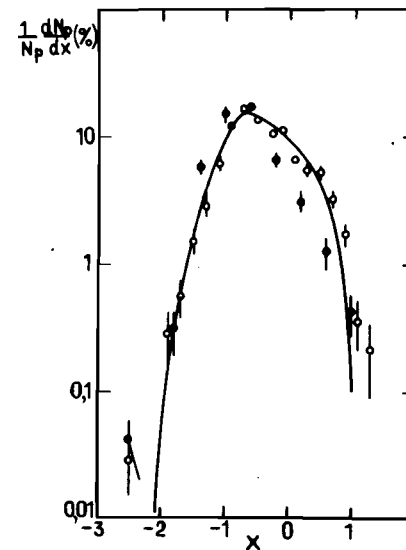


Рис.5. Распределения протонов по квадрату поперечного импульса: \circ - из пС-взаимодействий, \bullet - из пТа-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ /пС/.



деления не симметричны относительно нуля и становятся тем более асимметричными, чем тяжелее ядро-мишень. Коэффициент асимметрии углового распределения протонов

$$A = \frac{N_p(\theta^* < 90^\circ) - N_p(\theta^* > 90^\circ)}{N_p(\theta^* < 90^\circ) + N_p(\theta^* > 90^\circ)}$$

принимает следующие значения: $A_{пС}^p = -0,51 \pm 0,02$, $A_{пТа}^p = -0,81 \pm 0,06$, $A_{пС}^p / \text{ДКМ} = -0,58 \pm 0,01$,

Рис.6. Распределения протонов по фейнмановской переменной x в системе центра масс нуклон - нуклон: \circ - из пС-взаимодействий, \bullet - из пТа-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ /пС/.

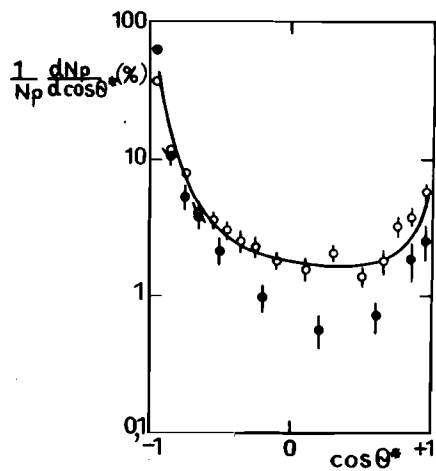


Рис.7. Распределения протонов по косинусу угла вылета в системе центра масс нуклон - нуклон: о - из nC-взаимодействий, ● - из nTa-взаимодействий, сплошная линия - ДКМ /nC/.

которые показывают, что протоны в системе центра масс нуклон - нуклон вылетают гораздо более асимметрично, чем π^- -мезоны^{/4/}. ДКМ хорошо описывает распределения протонов из nC-взаимодействий по переменным $\cos\theta^*$ и x в области $x < 0,6$. В обла-

сти $x > 0,6$ в эксперименте наблюдается больше протонов /5,5% \pm $\pm 0,7\%$ /, чем предсказывает ДКМ /2,9% \pm $\pm 0,2\%$ /.

4. СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОНОВ ИЗ nC- И nTa-ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Средние характеристики протонов, образующихся при nC-, nTa-, dC- и dTa-соударениях, приведены в табл.1.

Зависимость средней множественности протонов $\langle n_p \rangle$ от атомного веса ядра-мишени в nA_t-соударениях может быть представлена в виде $\langle n_p \rangle = a_0 A_t^{a_t}$, где $a_t = 0,15 \pm 0,04$.

Импульсные и угловые характеристики протонов из nC- и nTa-взаимодействий указывают на большую роль вторичных перерассеяний в тяжелом ядре в процессе образования протонов, что приводит к значительному уменьшению их среднего импульса и увеличению угла вылета по сравнению с nC-взаимодействиями.

Средние импульсы протонов из dC-взаимодействий заметно больше, чем из nC-столкновений, это объясняется присутствием быстрого протона в составе налетающей частицы. В то же время средние характеристики протонов из nTa- и dTa-взаимодействий очень близки друг к другу, т.к. большое количество вторичных перерассеяний стирает разницу между первичными протоном и нейтроном.

Отмеченное в п.3 отклонение экспериментальных распределений протонов из nC-взаимодействий от распределений, предсказываемых каскадной моделью, отражается и на средних характеристиках протонов, которые несколько отличаются от расчетных значений.

Таблица

	nC	nTa	dC	dTa	nC /ДКМ/
$\langle n_p \rangle$	$1,46 \pm 0,03$	$2,2 \pm 0,2$	$1,95 \pm 0,08$	$5,06 \pm 0,17$	$1,06 \pm 0,02$
$\langle p \rangle$ ГэВ/c	$1,20 \pm 0,03$	$0,78 \pm 0,03$	$1,50 \pm 0,04$	$0,74 \pm 0,01$	1,06
$\langle \theta^0 \rangle$	$39,6 \pm 0,8$	$54,6 \pm 1,6$	$38,0 \pm 0,7$	$58,2 \pm 0,5$	40,9
$\langle p_T \rangle$ ГэВ/c	$0,47 \pm 0,01$	$0,41 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,01$	$0,41 \pm 0,01$	0,43
$\langle y \rangle$	$0,70 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,01$	0,65
$\langle x \rangle$	$-0,39 \pm 0,02$	$-0,67 \pm 0,02$			-0,43
$\langle \cos\theta^* \rangle$	$-0,43 \pm 0,02$	$-0,72 \pm 0,02$			-0,50

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ зависимости импульсных и угловых характеристик протонов, образующихся в нейтрон-ядерных взаимодействиях, от атомного веса ядра-мишени показал существенную роль вторичных взаимодействий и перерассеяний в тяжелом ядре в процессе образования протонов. Эти процессы приводят к значительному смягчению спектра и уширению углового распределения протонов.

Модель внутриядерного каскада ДКМ в общих чертах описывает различные импульсные и угловые распределения протонов. Небольшие отклонения расчетных кривых от экспериментальных распределений, вероятно, объясняются тем, что в модели первичный дейтрон рассматривался очень схематично - как два нуклона на постоянном расстоянии друг от друга, т.е. не учитывалась возможность нахождения этих нуклонов на очень близком расстоянии в момент столкновения с ядром-мишенью.

Авторы выражают благодарность персоналу 2-метровой пропановой камеры и лаборантам за получение и обработку снимков, участникам сотрудничества по исследованиям на 2-метровой пропановой камере и В.Д.Тонееву за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ивановская И.А., Прокопиева С.А. ОИЯИ, P1-83-96, Дубна, 1983.
2. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, P1-84-70, Дубна, 1984; ЯФ, 1984, т.40, с.1477.
3. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, P1-85-680, Дубна, 1985; ЯФ, 1986, т.44, с.406.
4. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, P1-87-311, Дубна, 1987.
5. Гудима Р.Н., Тонеев В.Д. - ЯФ, 1978, т.27, с.658.
6. Gudima K.K., Toneev V.D. - Nucl.Phys. A, 1983, v.400, p.173.
7. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ 1-82-235, Дубна, 1982.
8. Армутлийски Д. и др. ОИЯИ, P1-86-263, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 марта 1988 года.

Бекмирзаев Р.Н. и др. P1-88-196
Исследование импульсных и угловых характеристик протонов из nC - и nTa -взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с

Проводится сравнительный анализ импульсных и угловых характеристик протонов, образующихся при взаимодействии нейтронов с ядрами углерода и тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с. Показана существенная роль вторичных перерассеяний в тяжелом ядре в процессе образования протонов. Проводится сравнение экспериментальных результатов с расчетами по модели внутриядерного каскада ДКМ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Bekmirzaev R.N. et al. P1-88-196
Investigation of Momentum and Angular Characteristics of Protons Produced in nC and nTa Interactions at 4.2 GeV/c Momentum

A comparative analysis of the momentum and angular characteristics of protons produced in the interactions of neutrons with carbon and tantalum nuclei at 4.2 GeV/c momentum had been made. A substantial role of secondary rescatterings inside a heavy nucleus in the proton production is shown. The experimental results are compared with calculations by the intranuclear cascade model (DCM).

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988