



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

C346F + C343g + C343r4

B-425

2455/84

P1-84-70

Р.Н.Бекмирзаев, А.П.Гаспарян, В.Г.Гришин,  
И.Долейши, М.М.Муминов, С.А.Прокопиева,  
М.И.Соловьев, И.Суванов, Э.Трка, Я.Тркова

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ  
ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
В НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ДЕЙТРОНОВ И НЕЙТРОНОВ  
С ЯДРАМИ ТАНТАЛА И УГЛЕРОДА  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 1,7 ГэВ/с нуклон

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1984



## Статистика событий

Тип взаимодействия	N соб.	N кадров
$d(C_3H_8)$	2417+49	2000
$dTa$	628+25	8000
$dC/2$ протона/	598+24	2000
$d(C_3H_8) \rightarrow s + x$	1385+37	5000
$dTa \rightarrow s + x$	142+12	8000

Взаимодействия с ядрами углерода выделялись из взаимодействий с пропаном путем отбора событий с двумя медленными протонами:  $d(p) + (C_3H_8) \rightarrow p_M + p_M + x$ .

Эффективность однократного просмотра оказалась равной 95%, двойного - более 99%. Статистика событий приведена в табл.1.

На части материала  $\approx 1000$  кадров/ для контроля точности измерения импульсов с помощью шаблона были измерены импульсы первичных дейтронов. Средний импульс оказался равным  $\langle p_d \rangle = 1,70 \pm 0,01$  ГэВ/с.нуклон, что соответствует заданному импульсу пучковых частиц.

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОНОВ-СТРИППИНГОВ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НЕЙТРОНОВ

Для выделения протонов-стриппингов (s) в неупругих взаимодействиях дейтронов отбирались события с положительной заряженной вторичной частицей с  $p_+ \geq 1,2$  ГэВ/с, для которой измерялся также угол вылета ( $\theta$ ) в плоскости камеры.

В табл.2 приведено число протонов  $p_s$  /в %/, имеющих угол вылета  $\theta \leq \theta_{max}$ , вычисленное в импульсном приближении с использованием хильтеновской волновой функции дейтрона. Отсюда видно, что 96% (s) имеют  $\theta < 4^\circ$  при  $p_d = 1,7$  ГэВ/с.нуклон. На рис.1а приведено распределение (s) по  $\theta$  во взаимодействиях дейтронов с пропаном / $p_d = 1,7$  ГэВ/с.нуклон/. Это распределение хорошо согласуется с вычисленным /см.табл.2/. Для сравнения на рис.1б приведено аналогичное распределение для  $p_d = 1$  ГэВ/с.нукл.

На рис.2 приведен импульсный спектр положительных вторичных частиц из неупругих  $d(C_3H_8)$ -взаимодействий / $p_d = 1,7$  ГэВ/с.нукл./,

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Для исследования механизма взаимодействия нуклонов с ядрами и ядер с ядрами при высоких энергиях важно изучить характеристики этих взаимодействий в широкой области энергий. В настоящей работе, которая является продолжением<sup>1,2/</sup>, изучаются множественности вторичных  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов, образованных в  $dC$ ,  $dTa$ ,  $pC$ -и  $pTa$ -взаимодействиях при  $p = 1,7$  ГэВ/с на нуклон. Для сравнения используются данные по этим же процессам при  $p = 1$  ГэВ/с.нуклон<sup>1/</sup>.

## 2. МЕТОДИКА

Экспериментальный материал получен при облучении 2-метровой пропановой ( $C_3H_8$ ) пузырьковой камеры пучком дейтронов с импульсом  $p = 1,7$  ГэВ/с.нуклон ( $\Delta p/p < 1\%$ ) на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

В рабочем объеме камеры были размещены три танталовые ( $^{181}Ta_{73}$ ) пластинки толщиной 1 мм на расстоянии 93 мм друг от друга. При просмотре стереоснимков отбирались неупругие взаимодействия дейтронов с ядрами водорода, углерода и тантала с числом вторичных заряженных частиц  $n_{ch} \geq 2$ .

Измерение импульсов заряженных частиц по шаблону и визуальная информация об ионизации и пробегах вторичных частиц позволили разделить их на четыре группы:

а/ отрицательные частицы -  $\pi^-$ -мезоны;

б/ положительные частицы с повышенной ионизацией и импульсом от 180 до 700 МэВ/с, в основном протоны ( $p_M$ ). Во взаимодействиях дейтронов с ядрами тантала регистрировались протоны с  $p \geq 200$  МэВ/с;

в/ релятивистские положительные частицы с импульсом от 700 МэВ/с до 2,5 ГэВ/с, в основном протоны ( $p_{rel}$ ). Двухлучевые взаимодействия с импульсом  $p_{rel} \geq 2,5$  ГэВ/с в основном являются реакцией упругого и квазиупругого рассеяния дейтрона на ядре мишени<sup>3/</sup>.

г/  $\pi^+$ -мезоны с импульсом  $\leq 700$  МэВ/с.

Кроме того, регистрировались протоны, летящие назад ( $p^-$ ) в лабораторной системе координат.

Для выделения взаимодействий нейтронов с ядрами отбирались события с наличием протона - стриппинга (s). Выделение таких протонов описано в разделе 3.



Таблица 2

Число протонов - стриппингов с  $\theta \leq \theta_{\max}$  при импульсах  $p_d \approx 1,7$  ГэВ/с.нукл.

$\theta_{\max}$	$1^\circ$	$2^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$5^\circ$	$6^\circ$	$p_d$ /ГэВ/с.нукл./
$n_p$ /%/	34	59	75	85	90	94	1,0
$n_s$ /%/	53	80	91	96	98	99	1,7

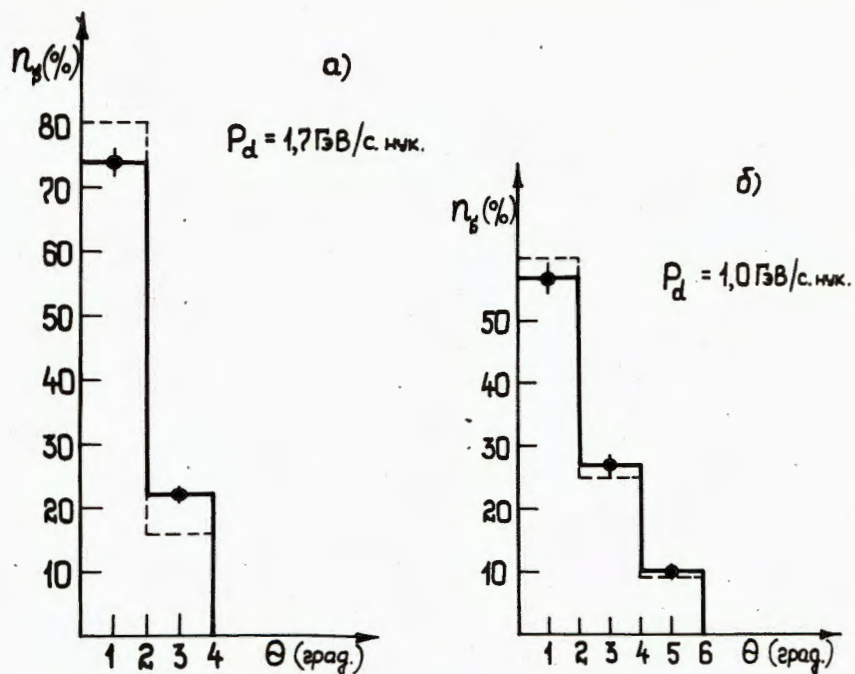


Рис.1. Распределение протонов-стриппингов /в%/ по плоскому углу  $\theta$ : а/  $p_d = 1,7$  ГэВ/с.нукл.; б/  $p_d = 1,0$  ГэВ/с.нукл. Пунктир - теоретические расчеты, сплошная гистограмма - эксперимент.

удовлетворяющих условию  $\theta \leq 4^\circ$ . Отчетливо виден максимум при  $\langle p_s \rangle \approx p_d / 2$ :  $\langle p_s \rangle = 1,68 \pm 0,01$  / ГэВ/с, с полушириной  $\sqrt{\sigma_p^2} = 0,23 \pm 0,01$  ГэВ/с /  $\Delta p/p = 14\%$ . Полуширина импульсного спектра определяется двумя факторами: ферми-движением нуклонов в дейтроне /  $\approx 6\%$  и ошибками измерения по шаблону /  $\approx 12\%$ .

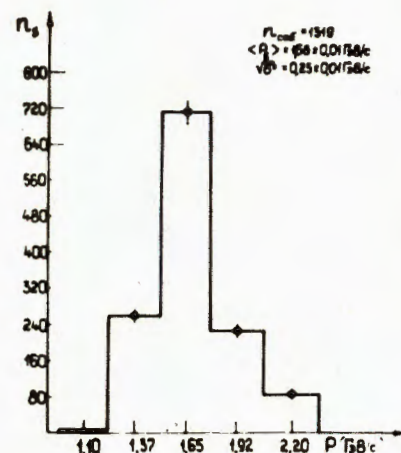


Рис.2. Распределение протонов-стриппингов по импульсу /  $p_d = 1,7$  ГэВ/с.нуклон/.

Отсюда можно сделать вывод о том, что вторичные положительные частицы с импульсом  $p_+ = 1,2 - 2,5$  / ГэВ/с, вылетающие под углом  $\theta \leq 4^\circ$ , можно считать протонами-стриппингами. По данным <sup>4/</sup> установлено, что фон в области углов  $\theta \leq 4^\circ$  от положительных частиц другого происхождения составляет  $\leq 5\%$ .

Выделение (в) было проведено также для dTa-взаимодействий. Соответствующее число событий с протонами-стриппингами приведено в табл.1. Отсюда можно найти долю (а) событий с протонами-стриппингами от всех неупругих взаимодействий дейтронов ( $n_{ch} \geq 2$ ) при  $p_d = 1,7$  ГэВ/с.нуклон:  $\alpha(d(C_3H_8)) = 0,34 \pm 0,02$ ,  $\alpha(dTa) = 0,23 \pm 0,02$ . При помощи полученных значений  $a_i$  можно оценить среднее число  $\langle n_i \rangle$  взаимодействующих нуклонов налетающего дейтрона:  $\langle n_{d(C_3H_8)} \rangle = 1,32 \pm 0,04$ , это число совпадает с модельным расчетом для взаимодействий дейтронов с углеродом:  $\langle n_{dC} \rangle = 1,29$  <sup>5/</sup>. Для dTa-взаимодействий число взаимодействующих нуклонов  $\langle n_{dT_a} \rangle = 1,54 \pm 0,04$ , и в пределах ошибок совпадает с  $\langle n_{dT_a} \rangle = 1,60 \pm 0,04$ , полученным при  $p_d = 4,2$  ГэВ/с.нуклон <sup>4/</sup>. Отобранные события с протон-стриппингом соответствуют взаимодействиям нейтронов с ядрами ( $C_3H_8$ ) и Ta.

В таких взаимодействиях можно оценить импульс "первичного" нейтрона:  $p_n = p_d - p_s$ , где  $p_d$ ,  $p_s$  - импульсы падающего дейтрона и протона-стриппинга соответственно.

С другой стороны, для получения импульсных характеристик нейтронов при помощи исследования их взаимодействий с ядрами, представляет интерес значение коэффициента  $k = p_n / p_{ch}$ , где  $p_{ch} = \sum p_{ch}^{(i)}$  и  $p_{ch}^{(i)}$  - импульсы вторичных заряженных частиц. Значение  $k$  обычно принимается равным  $1,5$  <sup>6/</sup>.

Настоящая работа дает возможность найти значения  $k$  в области  $p_n = 1 \div 2$  / ГэВ/с для  $n(C_3H_8)$ -взаимодействий. Для этой цели отбирались события:  $d + (C_3H_8) \rightarrow s + X (n_{ch} \geq 4)$  и определялись значения  $p_n$  и  $p_{ch}$ .

Полученные значения  $k$  для разных  $\langle p_n \rangle$  в области  $1 \div 2$  / ГэВ/с приведены в табл.3. Видно, что в этой области  $k \approx 1,36$  / при  $p_n \leq 1$  ГэВ/с значение  $k = 1$  /.



Таблица 3

Значения  $k = p_n / p_{ch}$  для  $n(C_3H_8)$  взаимодействий

$\langle p_n \rangle$ (ГэВ/с)	$\sqrt{\sigma_{p_n}^2}$ (ГэВ/с)	$\langle p_{ch} \rangle$ (ГэВ/с)	$\sqrt{\sigma_{p_{ch}}^2}$ (ГэВ/с)	K
1,10±0,02	0,18	0,83±0,02	0,17	1,33±0,02
1,51±0,02	0,35	1,11±0,02	0,10	1,36±0,03
1,72±0,02	0,22	1,26±0,01	0,22	1,37±0,01

4. МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Средние множественности вторичных заряженных частиц  $\langle n_{ch} \rangle$  протонов ( $\langle n_{p_n} \rangle$ ,  $\langle n_{p_{rel}} \rangle$ ) и  $\pi^\pm$ -мезонов ( $\langle n_+ \rangle$ ,  $\langle n_- \rangle$ ) во взаимодействиях:  $d(C_3H_8)$ ,  $dTa$ ,  $n(C_3H_8)$ ,  $nTa$  при импульсе падающей частицы 1,7 ГэВ/с.нукл. и 1 ГэВ/с.нукл. даны в табл.4. Соответствующие данные для взаимодействий, в которых имеется в конечном состоянии два и более протонов с  $p \leq 700$  МэВ/с, приведены в табл.5.

В этих таблицах также даны соотношения между  $\langle n_- \rangle$  в ядерных и нуклонных взаимодействиях  $R_-$ . Средние множественности  $\pi^-$ -мезонов в нуклон-нуклонных взаимодействиях при  $p = 1,7$  ГэВ/с представлены в табл.6. Они были получены на основе опубликованных данных по  $pp$  и  $pn$ -взаимодействиям [1,2].

Как видно из табл.4,  $\langle n_{ch} \rangle$  и особенно  $\langle n_- \rangle$  и  $\langle n_+ \rangle$  растут при увеличении импульса от  $p_d = 1$  ГэВ/с.нукл. до 1,7 ГэВ/с.нукл. Это, по-видимому, связано с быстрым ростом сечений NN-взаимодействий вблизи порога. Подобный рост наблюдается и в полном числе протонов ( $\langle n_{p_n} \rangle + \langle n_{p_{rel}} \rangle$ ), в основном за счет роста  $\langle n_{p_{rel}} \rangle$ .

Соотношение  $R_-$  для  $d(C_3H_8)$ , меняется от  $0,8 \pm 0,1$  при  $p = 1$  ГэВ/с.нукл. до  $1,3 \pm 0,1$  при  $p = 1,7$  ГэВ/с.нукл., что связано с ростом сечений NN-взаимодействий. Действительно, если учесть  $\langle \nu_{d(C_3H_8)} \rangle$ , то  $\beta = R_- / \langle \nu_{d(C_3H_8)} \rangle = 1,0 \pm 0,1$  при  $p = 1,7$  ГэВ/с.нукл., то есть  $\langle n_- \rangle$  на один взаимодействующий нуклон в  $d(C_3H_8)$  и NN-соударениях одинаково.

Для  $dTa$ -взаимодействий  $\beta = R_- / \langle \nu_{dTa} \rangle = 0,7 \pm 0,1$ , т.е., по-видимому, часть  $\pi^-$ -мезонов поглощается в ядре Ta.

Все тенденции роста  $\langle n_+ \rangle$  сохраняются также во взаимодействиях  $d(n)$  с ядрами углерода [см. табл.5]. Уменьшение в таких событиях  $\langle n_{p_{rel}} \rangle$  связано с отбором соударений более "центрального" типа.

На рис.3 и 4 приведены зависимости  $\langle n_- \rangle$  от импульса дейтронов и нейтронов в изучаемых неупругих взаимодействиях в интервале

Таблица 4

Средние множественности  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов в неупругих взаимодействиях дейтронов и нейтронов с пропаном и танталом при  $p = 1$  ГэВ/с.нуклон и  $p = 1,7$  ГэВ/с.нуклон

Ai	A <sub>d</sub>	p (ГэВ/с.нукл.)	$\langle n_{ch} \rangle$	$\langle n_- \rangle$	R <sub>-</sub>	$\langle n_{med} \rangle$	$\langle n_{rel} \rangle$	$\langle n_p \rangle$	$\langle n_{p+} \rangle$
d	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1	2,17±0,03	0,019±0,003	0,8±0,1	1,87±0,03	0,25±0,02	0,13±0,01	0,030±0,004
		1,7	2,54±0,03	0,17±0,01	1,3±0,1	1,41±0,02	0,80±0,02	0,18±0,01	0,16±0,01
d	Ta	1	2,33±0,07	0,026±0,007	0,8±0,2	2,05±0,07	0,20±0,02	0,17±0,02	0,03±0,01
		1,7	3,47±0,07	0,19±0,02	1,1±0,1	2,6±0,1	0,59±0,03	0,53±0,03	0,10±0,01
n	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1	1,28±0,03	0,028±0,004	0,7±0,2	1,12±0,03	0,12±0,01	0,07±0,01	0,015±0,003
		1,7	1,80±0,04	0,20±0,01	0,9±0,1	1,13±0,03	0,41±0,02	0,13±0,01	0,05±0,01
n	Ta	1	1,2 ±0,1	0,04±0,02	0,8±0,4	1,03±0,08	0,15±0,04	0,09±0,03	-
		1,7	2,05±0,12	0,21±0,04	0,7±0,1	1,4±0,1	0,4 ±0,1	0,23±0,04	0,05±0,02



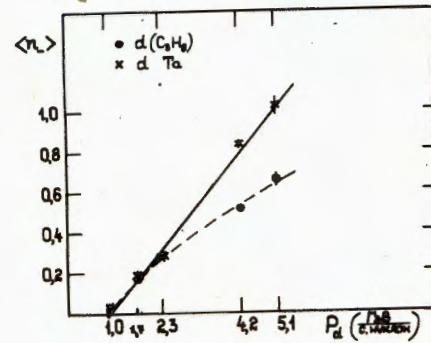
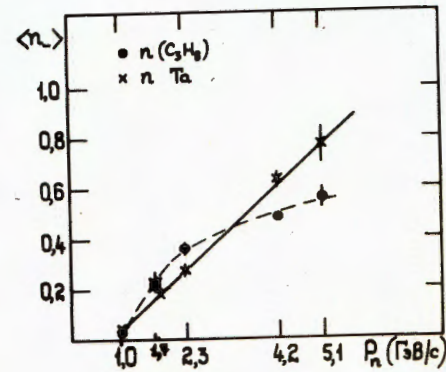
Таблица 5

Средние множественности  $\pi^+$ -мезонов и протонов во взаимодействиях дейтронов и нейтронов с ядрами углерода и тантала при  $p = 1$  ГэВ/с.нукл. и  $p = 1,7$  ГэВ/с.нукл.

$A_i$	$A_t$	$P$ (ГэВ/с.нукл.)	$\langle N_{\pi^+} \rangle$	$\langle N_p \rangle$	$R_+$	$\langle n_{\text{мед.}} \rangle$	$\langle n_{\text{рел.}} \rangle$	$\langle n_{\text{р}} \rangle$	$\langle n_{\text{д}} \rangle$
d	C	1	$2,78 \pm 0,05$	$0,021 \pm 0,004$	$0,8 \pm 0,2$	$2,61 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,02$	$0,023 \pm 0,005$
d	Ta	1,7	$3,75 \pm 0,07$	$0,18 \pm 0,02$	$1,4 \pm 0,2$	$2,48 \pm 0,06$	$0,57 \pm 0,03$	$0,41 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$
n	C	1	$2,54 \pm 0,09$	$0,025 \pm 0,009$	$0,8 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,1$	$0,05 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,01$
n	Ta	1,7	$4,9 \pm 0,1$	$0,22 \pm 0,03$	$1,8 \pm 0,2$	$4,02 \pm 0,11$	$0,50 \pm 0,04$	$0,81 \pm 0,05$	$0,15 \pm 0,02$
		1	$2,3 \pm 0,1$	$0,04 \pm 0,01$	$0,9 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,1$	$0,08 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,03$	$0,011 \pm 0,005$
		1,7	$3,1 \pm 0,1$	$0,24 \pm 0,03$	$1,1 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	$0,27 \pm 0,03$	$0,36 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,01$
		1	$2,1 \pm 0,3$	-	-	$2,1 \pm 0,3$	-	$0,4 \pm 0,2$	-
		1,7	$3,3 \pm 0,3$	$0,15 \pm 0,06$	$0,5 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,3$	$0,24 \pm 0,07$	$0,7 \pm 0,1$	$0,10 \pm 0,05$

Таблица 6  
Средние множественности  $\pi^-$ -мезонов в NN-взаимодействиях.

Тип взаимодействия	$\langle n_- \rangle$
pn	$0,100 \pm 0,003$
nn	$0,42 \pm 0,02$
pp	$0,0065 \pm 0,0006$
$pN_{C_3H_8}$	$0,041 \pm 0,001$
$nN_{C_3H_8}$	$0,22 \pm 0,01$
$pN_{Ta}$	$0,060 \pm 0,001$
$nN_{Ta}$	$0,29 \pm 0,01$
$NN_{d(C_3H_8)}$	$0,130 \pm 0,005$
$NN_{dTa}$	$0,175 \pm 0,005$

Рис.3. Зависимость  $\langle n_- \rangle$  от импульса дейтронов для  $d(C_3H_8)$ - и  $dTa$ -взаимодействий /кривые проведены от руки/.Рис.4. Зависимость  $\langle n_- \rangle$  от импульса нейтрона в  $n(C_3H_8)$ - и  $nTa$ -взаимодействиях /кривые проведены от руки/.

импульсов /1-5/ ГэВ/с.нуклон. Эти результаты можно использовать для проверки теоретических моделей.



## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Получены данные о множественности вторичных заряженных частиц во взаимодействиях дейтронов и нейтронов с ядрами углерода и тантала при  $p = 1,7$  ГэВ/с.нукл.

2. В  $d(C_3H_8)$ -взаимодействиях  $\langle n \rangle$  на один взаимодействующий нуклон дейтрона равна той же величине в NN-соударениях. В  $dTa$ -взаимодействиях часть  $\pi^-$ -мезонов поглощается в ядре-мишени при этих энергиях ( $R \leq 1$ ).

3. Выделены каналы с протоном-стриппингом в неупругих  $d(C_3H_8)$ - и  $dTa$ -взаимодействиях с  $p_{ch} \geq 2$  при  $p = 1,7$  ГэВ/с.нукл. Для них получены вероятности этих процессов и средние значения числа взаимодействующих нуклонов падающего дейтрона:  $\langle \nu_{d(C_3H_8)} \rangle = 1,32 \pm 0,04$ ,  $\langle \nu_{dTa} \rangle = 1,54 \pm 0,04$ .

4. Найдены значения коэффициента  $k = p_n / p_{ch}$  для  $n(C_3H_8)$ -взаимодействий в области  $p_n = 1 \div 2$  ГэВ/с ( $\langle k \rangle = 1,36 \pm 0,03$ ).

Авторы выражают благодарность группе 2-метровой пропановой пузырьковой камеры за получение экспериментального материала и всему коллективу этого сотрудничества за полезные обсуждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, Р1-83-481, Дубна, 1983.
2. Ивановская И.А., Прокопиева С.А. ОИЯИ, Р1-83-96, Дубна, 1983.
3. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, 1-83-662, Дубна, 1983.
4. Баатар Ц. и др. ОИЯИ, Р1-80-209, Дубна, 1980.
5. Гаспарян А.П. и др. ЯФ, 1981, т.34, вып.5, с.1328.
6. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1983, т.37, вып.3, с.641.

Бекмирзаев Р.Н. и др.

Р1-84-70

Множественность вторичных заряженных частиц в неупругих взаимодействиях дейтронов и нейтронов с ядрами тантала и углерода при импульсе 1,7 ГэВ/с.нуклон

Получены значения множественностей вторичных заряженных частиц в неупругих  $d(C_3H_8)$ -,  $dTa$ -,  $n(C_3H_8)$ - и  $nTa$ -взаимодействиях при  $P = 1,7$  ГэВ/с.нуклон. Показано, что во взаимодействиях  $d(n)$  с изучаемыми ядрами средняя множественность отрицательных пионов равна или меньше  $\langle n \rangle$  в NN-взаимодействиях, т.е. размножения пионов при этих энергиях не происходит. Получено значение коэффициента  $k = p_n / p_{ch}$  для  $n(C_3H_8)$ -взаимодействий в интервале импульсов  $p_n = 1 \div 2$  ГэВ/с  $\langle k \rangle = 1,36 \pm 0,03$ .

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Bekmirzaev R.N. et al.

Р1-84-70

The Multiplicity of the Secondary Charge Particles in Inelastic Interactions of Deuterium and Neutrons with Tantalum and Carbon Nuclei at 1.7 GeV/c per Nucleon

The average multiplicities of the secondary charged particles in  $d(C_3H_8)$ -,  $dTa$ -,  $n(C_3H_8)$ -, and  $nTa$ -inelastic collisions at 1.7 GeV/c per nucleon have been obtained. It has been shown that in interactions of  $d$  and  $n$  with nuclei the average multiplicities of negative pions are less or equal than corresponding ones in nucleon-nucleon interactions e.g. the influence of the target nucleus on the pion production is not observed. The ratio of the average neutron momentum to the average total momentum of all charged particles has been found to be equal to  $k = 1.36 \pm 0.03$ .

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984