

# ЗАВИСИМОСТЬ МНОЖЕСТВЕННОСТИ ПРОТОНОВ И ПИОНОВ ОТ ИХ СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ В dC-СОУДАРЕНИЯХ

Р.Н.Бекмирзаев<sup>1</sup>, Х.Бекмирзаева<sup>1</sup>, М.У.Султанов<sup>2</sup>, М.Мустафоева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Джизакский государственный педагогический институт, Джизак,

<sup>2</sup>Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

## dC-to'qnashuvlarda protonlar va pionlar ko'plamchiligining to'qnashuv markaziyliги darjasiga bog'liqligi

**Annotatsiya.** Ushbu ishda (Dubna sh. Rossiya) Birlashgan yadro tadqiqotlari instituti (BYATI) yuqori energiyalar fizikasi laboratoriyasining 2-metrli propanli pufakchali kamerasida olingan, impulsi 4.2 AGeV/s bo'lgan deutronlarning uglerod yadrosi bilan to'qnashuvlarida hosil bo'lgan  $\pi^-$  va  $\pi^+$  mezonlar hamda protonlar ko'plamchiligining to'qnashuv markaziyligiga bog'liqligi bo'yicha olingan yangi tajriba ma'lumotlari keltirilgan.

**Kalit so'z va iboralar.** propanli pufakchali kamera, deutron, proton, to'qnashuv.

\*\*\*

## Зависимость множественности протонов и пионов от их степени центральности в dC-соударениях

**Аннотация.** В данной работе представлены новые экспериментальные данные, полученные на двухметровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ, о множественностях  $\pi^-$  и  $\pi^+$  -мезонов и протонов во взаимодействиях дейтронов с импульсами 4,2 АГэВ/с с ядром углерода в зависимости от степени центральности соударения.

**Ключевые слов.** пропановой пузырьковой камера, дейтрон, протон, соударения.

\*\*\*

## The dependence of collision centrality on multiplicities of protons and pions in a dC- interactions

**Abstract.** New experimental data obtained at two-meter propane bubble chamber of LHE of JINR (Dubna, RF) on multiplicities of  $\pi^-$  and  $\pi^+$  mesons and protons in the interactions of deuterons with carbon nucleus at momentum 4.2 AGeV/c in a dependence of collision centrality are presented.

**Key words.** propane bubble chamber, deuterons, proton, presented

## Введение

Исследование ядро-ядерных взаимодействий при высоких энергиях сталкивающихся ядер является хорошим источником информации о коллективных свойствах ядерной материи, в поисках эффектов многонуклонных взаимодействий, проявлений кварковых степеней свободы. Без детального изучения характеристик вторичных частиц таких как множественности, импульсные, угловые и быстрое распределения невозможно обнаружить какие либо особенности ядерных реакций.

Экспериментальный материал получен на основе обработке стереофотографий с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ (г.Дубна, РФ), помещенной в магнитное поле с напряженностью 1,5 Тл, и облученной в пучке дейтронов с импульсом 4,2 А ГэВ/с на синхрофазатроне ОИЯИ.

Цель данной работы является детальный анализ множественности вторичных адронов – протонов и заряженных пионов в dC- взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с.

### Методика эксперимента

Для выделения событий неупругого dC- взаимодействия из полного ансамбля d(C<sub>3</sub> Н<sub>8</sub>) – взаимодействий использовались критерии, описанные в [1-11]. В анализируемом ансамбле dC- взаимодействий среди вторичных частиц выделялись заряженные пионы, протоны-участники с импульсом  $P > 0,3$  ГэВ/с и испарительные протоны с импульсами  $0,15 \leq P < 0,3$  ГэВ/с. Введена корректировка на число протонов ниже 0,15 ГэВ/с, поскольку эти протоны не регистрируются в пропановой камере из-за малой длины пробега. Кроме того, рассматривались две группы протонов: протоны участники из ядра мишени ( $0,3 < P \leq 0,75$  ГэВ/с) и протоны из налетающего ядра дейтрона ( $P > 0,75$ ) ГэВ/с. Надо отметить, что в составе последних двух групп протонов есть незначительная доля протонов из ядра снаряда и из ядра-мишени. Примесь этих протонов учтена исследованиям поперечных импульсов соответствующих частиц.

В изучаемых dC-событиях выделялись все регистрируемые протоны,  $\pi^+$  и  $\pi^-$  -мезоны, протоны участники с импульсом  $P \geq 0,3$  ГэВ/с и испарительные протоны в интервале импульсов частиц  $0,15 \leq P < 0,3$  ГэВ/с. А также рассматривались две группы протонов: протоны участники из ядра мишени, импульсы которых лежат в интервале  $0,3-0,75$  ГэВ/с и протоны с импульсом  $P > 0,75$  ГэВ/с. Протоны с импульсом  $P > 0,75$  ГэВ/с считаются протонами, провзаимодействовавшие с ядром мишенью и часть протонов из ядра углерода, получившую большую передачу импульса при взаимодействии с нуклоном (протоном или нейтроном) снаряда.

За меру степени центральности dC-взаимодействий была принята “net” заряд  $Q$ , которая определялась как

$$Q = n_+ - n_- - n_p^s - n_t^s,$$

где  $n_+$  и  $n_-$  - число однозарядных положительных и отрицательных частиц в событии,  $n_p^s$  и  $n_t^s$  - число протонов стриппингов из ядра снаряда и из ядра мишени, соответственно. Для  $n_p^s$  принято частицы-спектаторы с  $P > 3$  ГэВ/с и углом вылета  $\theta < 3^\circ$ . Спектаторные протоны из ядра-мишени считались протоны с  $P < 0,3$  ГэВ/с. Величина  $Q$  равна суммарному заряду частиц в событии, активно участвующих во взаимодействии. Она коррелирует с величиной прицельного параметра  $b$  соударения сталкивающихся ядер. Степень центральности взаимодействия возрастает с ростом  $Q$ , т.е. с увеличением число участвующих частиц при столкновении.

### Экспериментальные результаты

Получены множественные распределения вторичных протонов и заряженных пионов, образованных в dC-взаимодействиях. Число анализируемых dC-событий и средние множественности вторичных частиц для всех dC-столкновений и для шести групп событий с различной степенью центральности, определяемой величины  $Q$ , представлены в табл.1. Из полученных данных видно, что периферические взаимодействия ( $Q \leq 2$ ) составляют около 60% всех неупругих dC-соударений, а доля наиболее центральных соударений ( $Q \geq 4$ ) составляют  $\approx 20\%$ . Среди событий  $Q \leq 2$

имеется примесь от многонуклонных взаимодействий, которые можно исключить, требуя, чтобы в событии имелся только одного или двух идентифицированных протонов, вылетающий в любом направлении (эти протоны может вылетит из ядра за счет ферми-движения нуклонов). Полный ансамбль dC-взаимодействия характеризуется средним числом протонов участников  $\langle n_p(\text{уч}) \rangle = 1,11 \pm 0,01$ . Причины этого является меньшее количество непериферических взаимодействий. Средняя множественность заряженных пионов одинаково (табл.1), что типично для взаимодействий дейтронов с симметричным ядром углерода  $^{12}\text{C}$ .

Таблица 1. Средние множественности частиц в dC-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с в зависимости от степени центральности взаимодействия

Q	1	2	3	4	5	6	7	Все соб.
$N_{\text{соб}}$	1797	2030	1394	811	407	193	60	7070
$\langle n_{\pm} \rangle$	1.43±.01	2,32±0.08	3.53±0.06	5.01±.03	6.02±.02	7.2±.02	8.43±.01	3.36±.02
$\langle n_{\pi^{-}} \rangle$	0.49±.02	0.50±.02	0.75±0.01	0.91±.01	1.16±.01	1.21±.01	1.52±.01	0.59±.01
$\langle n_{\pi^{+}} \rangle$	0.55±.02	0.51±.02	0.65±.02	0,80±.01	0.86±.01	0.75±.01	.82±.01	0.64±.01
$\langle n_p(\text{уч}) \rangle$	0.32±.02	0.83±.01	1.39±.01	2.01±.01	2.56±.01	2.99±.01	3.90±.01	1.12±.01
$\langle n_p(\text{уч}) \rangle$ 0,3<p≤0,75 ГэВ/с	0.26±.01	0.54±.01	0.88±.01	1.34±.01	1.68±.01	1.93±.01	2.84±.01	0.74±.01
$\langle n_p(\text{уч}) \rangle$ , P>1,4 (ГэВ/с)	0.54±.02	0.48±.02	0.53±.02	0.58±.02	0.52±.02	0.67±.02	0.49±.02	0.55±.02
$\langle n_p(\text{исп}) \rangle$ 0,15<p≤0,3 (ГэВ/с)	0.21±.02	0.41±.02	0.66±.02	0.99±.01	1.17±.01	1.52±.01	1.26±.01	0.55±.02
$\langle n_p(\text{исп}) \rangle$ P<0,15 (ГэВ/с)	3.72±.03	2.26±.02	1.05±.02	0.23±.02	0.16±.02	0.09±.01	0.06±.02	0.01±.004

Средняя множественность протонов-участников почти на 25% превышает средней множественности протонов с импульсом P>1,4 ГэВ/с. Это свидетельствует об относительно меньшем образовании Δ-изобаров в dC-взаимодействиях чем pC-столкновений при той же энергии [12-14].

Из  $Q$  зависимости средних множественностей можно видеть, что при переходе от периферических взаимодействий к центральным, значительно возрастают средние множественности всех рассматриваемых вторичных заряженных частиц (табл.1). Особенно, множественное образование  $\pi^-$ -мезонов заметно чувствительны к величине степени центральности. Средние множественности положительных и отрицательных пионов для всех dC-событий почти одинаково:  $\langle n_{\pi^-} \rangle = 0,63 \pm 0,01$  и  $\langle n_{\pi^+} \rangle = 0,64 \pm 0,01$ . Для событий с  $Q \geq 3$  множественное образование  $\pi^+$ -мезонов, в пределах ошибок, постоянно. Разницу в множественностей  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -мезонов с увеличением степени центральности можно объяснить если учитывать, что сечение реакции  $pp \rightarrow pp\pi^+ \sigma_1$  при импульсе 4,2 ГэВ/с превышает сечение реакции  $pp \rightarrow pp\pi^- \sigma_2$  в три раза [13]. Дейтрон можно рассматривать как очень слабо связанное протон-нейтронную систему (удельная энергия связи 1,11 МэВ) относительно энергии взаимодействия. Поэтому можно предполагать, что каждый нуклон дейтрона в отдельности взаимодействует с ядром углерода. С уменьшением импульса первичного протона в ходе взаимодействия с ядром углерода эти превышение увеличивается ( $\sigma_1$  существенно возрастает, а  $\sigma_2$  медленно убывает). Таким образом может быть объяснена различная зависимость  $\langle n_{\pi^-} \rangle$  и  $\langle n_{\pi^+} \rangle$  от  $Q$ .

Рассмотрим влияние степени центральности dC-взаимодействий на средние множественности медленных протонов-фрагментов мишени ( $0,3 \leq P < 0,75$  ГэВ/с). При этом наименьшее значение  $\langle n_p \rangle$  наблюдается в событиях  $Q=1$  (см.табл.1), которые как указывалось выше, в основном представляет собой результат взаимодействия протона из снаряда с нейтроном ядра углерода. По мере увеличения  $Q$  множественность мишенных протонов возрастает, т.е. все больше число нуклонов ядра углерода вовлекается в процесс взаимодействия. При этом, естественно, уменьшается множественность испарительных протонов, в частности, множественность протонов с импульсом  $P < 0,15$  ГэВ/с сильно падает. Множественность мишенных протонов с  $P > 0,75$  ГэВ/с, число которых

определяется из соотношения  $\langle n_p(\text{уч}) \rangle - \langle n_p(\text{уч}) \rangle_{0,3 < p \leq 0,75} - \langle n_p(\text{уч}) \rangle_{p > 1,4}$  тоже возрастает с увеличением  $Q$ . Это происходит благодаря увеличению доли мишенных протонов, получивших большую передачу импульса при соударении с налетающим протоном. Средняя множественность лидирующих протонов около  $0,40 \pm 0,01$ .

Таблица 2. Значения параметров  $\alpha$  и  $\beta$  в dC- взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с в зависимости от величины  $Q$ .

Q	1	2	3	4	5	6	7	Все события
$\alpha$	0,930	0,603	0,535	0,450	0,451	0,404	0,389	0,575
$\beta$	1,402	0,615	0,472	0,402	0,336	0,250	0,210	0,566

По полученным данным о  $\langle n_{\pi^-} \rangle$ ,  $\langle n_{\pi^+} \rangle$  и  $\langle n_p(\text{уч}) \rangle$  при разных  $Q$  определены отношения  $\alpha = \langle n_{\pi^-} \rangle / \langle n_p(\text{уч}) \rangle$  и  $\beta = \langle n_{\pi^+} \rangle / \langle n_p(\text{уч}) \rangle$  и получены зависимости этих отношений от  $Q$  (табл.2). Из таблицы можно видеть, что по мере перехода от периферических взаимодействий к центральным значительно уменьшается (до 60%) среднее число  $\pi^-$ -мезонов, приходящихся на один средний протон-участник из dC-взаимодействий при 4,2 ГэВ/с. Это свидетельствует о том, что с ростом  $Q$  уменьшается доля вторичных взаимодействий с рождением  $\pi^-$ -мезонов. В то же время отношение  $\langle n_{\pi^+} \rangle / \langle n_p(\text{уч}) \rangle$  оказалось меньше чувствительным к центральности событий. Это и понятно, поскольку средняя множественность  $\pi^+$ -мезонов возрастает с  $Q$  почти пропорционально росту с  $Q$  среднего числа протонов-участников, что нельзя сказать о средней множественности  $\pi^-$ -мезонов.

### Заключение

1. Представлены экспериментальные данные о множественностях протонов,  $\pi^+$  и  $\pi^-$ - мезонов во взаимодействиях дейтронов с импульсом 4,2 А ГэВ/с с ядром углерода в зависимости от параметра  $Q$ , коррелирующего со степенью центральности соударения.

2. В периферических dC-взаимодействиях ( $Q=1$  и  $2$ ) происходит возбуждение ядро-мишени, в результате которого испускаются медленные протоны с импульсом до  $0,3$  ГэВ/с.
3. С увеличением степени центральности существенно возрастает полная множественность заряженных частиц за счет увеличения множественности  $\pi^-$ -мезонов и протонов-участников из ядра-мишени. Наблюдается резкое уменьшение средней множественности испарительных протонов с импульсом  $P>0,15$  ГэВ/с.
4. По мере перехода от периферических взаимодействий к центральным событиям среднее число отрицательных пионов, приходящихся на один протон-участник ( $P>0,75$  ГэВ/с) уменьшается до  $60\%$ . Это является результатом уменьшения прицельного параметра неупругих dC-соударений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекмирзаев Р.Н., Гришин В.Г., Долейши И. и др., ЯФ **49**, 1030(1989).
2. Бекмирзаев Р.Н., Ивановская И.А., Муминов М.М. и др., ЯФ **49**, 488(1989).
3. K. Olimov et al., Comparative analysis of characteristics of protons in n12C and p12C collisions at 4.2 GeV/c, Int. J. Mod. Phys. E, Vol. 29, No. 6 (2020).
4. Олимов К., Бекмирзаев Р.Н., Петров В.И. и др. ДАН РУз №4, 29(2011).
5. А.И. Бондаренко и др., Препринт ОИЯИ, P1-98-292, Дубна, 1998.
6. Гаспарян А.П., Гришин В.Г. и др., Препринт ОИЯИ. 1-80-778, Дубна, 1980.
7. Агакишиев Г.Н. и др., Препринт ОИЯИ, P1-84-235, Дубна, 1984.
8. Ивановская И.А. Препринт ОИЯИ, P1-91-264, Дубна, 1991.
9. Бекмирзаев Р.Н., Беляков В.А. Олимов К. и др. ДАН РУз №6, 36(2011).
10. Х. К. Олимов, ЯФ **71**, 427 (2008).
11. К. Олимов, С. Л. Лутпуллаев, Х. К. Олимов, В.И. Петров. ЯФ **72**, 604 (2009).
12. Г.Н.Агакишиев и др. ЯФ 40,1209 (1984); Z.Phys. C 27,177 (1985).

13. Д.Армутлийски и др., ЯФ 45, 1047 (1987); Z.Phys. A 328, 455 (1987).
14. А.И.Бондаренко и др. Сообщение ОИЯИ Р1-98-292 (Дубна,1998).