Uzbek Journal of Physics

Vol.20(№2) 2018 PP.69-73

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СПЕКТРЕ ПРОТОНОВ В ^{16}Op-СОУДАРЕНИЯХ ПРИ 3.25 А ГэВ/с

Б.С. Юлдашев[2], К. Олимов[1], Э.Х. Бозоров[2], Д.А. Каршиев[4], Б.Ш. Абдиев[5], А.Р. Тургунов[6], А. Жулиев[3]

[1]Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2]Институт ядерной физики АН РУз, 100214, Ташкент, Узбекистан
[3]Национальный университет имени Мирзо Улугбека РУз, Ташкент, Узбекистан
[4]Ташкентский педиатрический медицинский институт, Ташкент, Узбекистан
[5]Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан
[6]Наманганский инженерно-технологический институт, Наманган, Узбекистан
(Получена 29.01.2018)

Илк бор 4π-геометрия шароитида юқори энергияли кислород ядросининг водородли камера билан ўзаро тўқнашишида кумулятив протонларнинг битта механизми тажрибада кўрилди. Протонлар кинетик энергияси бўйича спектрининг 70–90 МэВ соҳасида нодаврийликлар топилди, буни қуйидаги секинлашган пионлар жараёни квазидейтрон жуфт нуклонларда сочилиши билан тушунтирилади. Кумулятив протонларнинг пайдо бўлишида бу механизмнинг ҳиссаси (20.2±1.4)% ни ташкил қилади.

Впервые в условиях 4π-геометрии получены экспериментальные данные об одном механизме образования кумулятивных протонов во взаимодействиях ядер кислорода в водородной камере при высоких энергиях. Обнаружена нерегулярность в спектре кинетической энергии протонов в области 70–90 МэВ, которая обусловлена процессом поглощения медленных пионов квази-дейтронной парой нуклонов. Вклад этого механизма в образование кумулятивных протонов составляет (20.2±1.4)%.

For the first time under conditions of 4π-geometry, experimental data have been obtained on one mechanism of the cumulative proton′s formation in oxygen nuclei interactions in a hydrogen chamber at high energies. An irregularity in the spectrum of the proton′s kinetic energy in region 70–90 MeV is detected which is due to the absorption of slow pions by quasi-deuteron pair nucleons. The contribution of this mechanism to the formation of cumulative protons is (20.2±1.4)%.

I. ВВЕДЕНИЕ

В интервале первичных энергий 3–300 ГэВ в адрон-ядерных соударениях во взаимодействиях p^{12}C (4.2 ГэВ/с), p^{12}C (9.9 ГэВ/с), π^{-12}C (40.0 ГэВ/с), ^{16}Op (3.25 А ГэВ/с) и p^{20}Ne (300 ГэВ/с) были исследованы различные характеристики протонов и установлены универсальные закономерности их образования. В частности, установлена трехстадийность процессов адрон-ядерных взаимодействий и определены статистические вклады этих стадий в образование протонов-фрагментов – каскада первичной частицы, ферми-развала ядра-мишени и процесса испарения возбужденного ядра-остатка. Показано, что эти доли не зависят от первичной энергии и массового числа легкого фрагментирующего ядра, но чувствительны к типу налетающей частицы (пион или протон), т.е. к числу их валентных кварков. Установлено, что механизм образования быстрых протонов, особенно летящих вперед, имеет универсальный характер, выражающийся в

независимости его от первичной энергии, типа налетающей частицы и массового числа легкого фрагментирующего ядра [1].

Одним из возможных механизмов, приводящим к образованию относительно энергичных нуклонов-фрагментов, может быть реакция поглощения медленных рожденных пионов квазидейтронной парой нуклонов в ядре [2, 3]:

$$\pi+<<d>>\rightarrow N+N. \quad (1)$$

Если энергия пиона будет достаточно велика, то в конечном состоянии возможно образование изобар. В частности, реализация таких реакций также может привести к образованию "кумулятивных" нуклонов.

В работах [2, 4-6] в pNe-взаимодействиях при 300 ГэВ/с и в πC-соударениях при 4 и 40 ГэВ/с в импульсном спектре протонов было обнаружено наличие структуры – отклонение от монотонности в области $P_p \approx 0.3–0.5$ ГэВ/с. Было показано, что наблюдаемая особенность обусловлена распадами сильно связанных малонуклонных систем в результате поглощения ими пионов или мезонных резонансов

Настоящая работа посвящена исследованию энергетического спектра протонов-фрагментов ядра кислорода, образованных в ^{16}Op-взаимодействиях при импульсе 3.25 ГэВ/с на нуклон, а также оценке вклада реакции поглощения медленного π^+-мезона квазидейтронной парой нуклонов в образование кумулятивных протонов.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обсуждаемые ниже экспериментальные данные были получены с помощью 1 м водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучке ядер ^{16}O при импульсе 3.25 А ГэВ/с на Дубненском синхрофазотроне. Статистика, анализируемая в данной работе, составляет 11098 измеренных ^{16}Op-событий. Отметим, что использование пучков ускоренных легких ядер в экспериментах в водородных пузырьковых камерах позволяет идентифицировать все фрагменты снаряда по заряду и массе [7-9]. Рассматривались фрагменты с длиной треков $L > 35$ см, что было необходимо для надежной идентификации фрагментов по массе. При таком ограничении по длине треков средняя относительная погрешность в определении импульсов всех фрагментов не превышает 3.4%.

Для окончательной идентификации фрагментов по массе были введены следующие импульсные интервалы: однозарядные фрагменты с $p = 4.75–7.8$ ГэВ/с относились к ^{2}H и с $p > 7.8$ ГэВ/с – к ^{3}H; двухзарядные фрагменты с $p < 10.8$ ГэВ/с относились к ^{3}He, а с $p > 10.8$ ГэВ/с – к ^{4}He. При такой идентификации фрагментов (с $L > 35$ см) примесь из близких по массе изотопов не превышает 4–5%. Все однозарядные положительные частицы в интервале импульсов $1.75 \text{ ГэВ/с} \le p \le 4.75$ ГэВ/с были отнесены к протонам. Отметим, что все многозарядные фрагменты ядра-снаряда однозначно идентифицировались по значению заряда. Это позволило изучать процесс фрагментации по отдельным топологическим каналам. В дальнейшем при описании и обсуждении результатов энергетические характеристики протонов приводятся в антилабораторной системе, т.е. в системе покоя ядра-кислорода.

В работе [10] было показано, что распределение инвариантной структурной функции $f(T)$ по кинетической энергии протонов в области $T \le 10$ МэВ резко

спадает с ростом энергии, далее наклон спектра уменьшается, и при $T > 50$ МэВ форма распределения приближается к экспоненциальной. При этом в инклюзивном спектре протонов по кинетической энергии наблюдается немонотонность в спаде в области $T \approx 70$–90 МэВ. Эта структура четко проявляется в топологических каналах с суммарным зарядом многозарядных фрагментов $5 \le \sum Z_f \le 7$. На рис. 1 приведены распределения протонов-фрагментов по кинетической энергии в области $40 < T < 250$ МэВ для двух групп событий в этих каналах: в которых отсутствуют ядра дейтерия d (рис. 1*а*) и имеется хотя бы одно такое ядро (рис. 1*b*). Распределение имеет структуру с заметным пиком для групп событий каналов, в которых отсутствуют ядра дейтерия d (рис. 1*а*). Сплошная кривая представляет собой результат аппроксимации спектра вне интервала $70 < T < 110$ МэВ полиномом пятого порядка. Показано, что вне указанного интервала этот спектр имеет монотонно спадающий характер и хорошо воспроизводится полиномом ($\chi^2 = 3.18$ при числе степеней свободы 11, что соответствует более 99%-му уровню достоверности). Штриховая кривая на рис. 1*а* представляет собой результат аппроксимации всех экспериментальных точек полиномом Лежандра 5-го порядка. Видно, что включение интервала 70 МэВ $< T <$ 110 МэВ ухудшает описание экспериментальных данных ($\chi^2 = 17.5$ при числе степеней свободы 15, что соответствует менее 30%-ному уровню достоверности). Таким образом, можно предполагать, что структура, наблюдаемая в интервале $70 < T < 90$ МэВ, является достоверной.

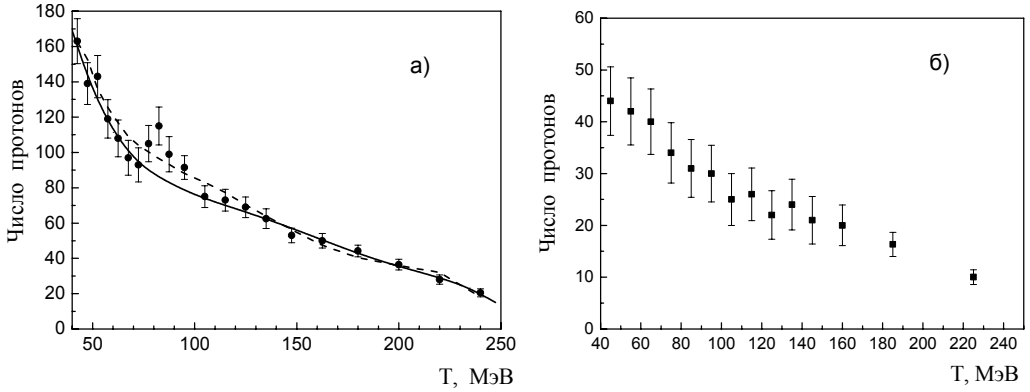


Рис. 1. Распределение протонов-фрагментов по кинетической энергии в каналах с суммарным зарядом многозарядных фрагментов $5 \le Z_f \le 7$ в событиях без образования ядра дейтерия (*а*) и с образованием хотя бы одного ядра дейтерия (*б*).

Расположение максимума пика при $T \approx 80 \pm 5$ МэВ в распределении протонов по кинетической энергии (рис. 1*а*) хорошо согласуется с предположением о том, что часть протонов образуется при распадах квазидейтронной пары нуклонов при поглощении медленного π-мезона. В этом случае можно ожидать, что в каналах с выходом ядер дейтерия вероятность наблюдения протонов, образованных в реакциях поглощения пиона квазидейтронными парами нуклонов в ядре, будет сильно подавлена. Действительно, на рис. 1*б* в событиях с образованием ядра дейтерия какие-либо аномалии в области $T \approx 70$–90 МэВ отсутствуют. Отметим, в частности, что наличие или отсутствие трехнуклонных фрагментов – ядер трития и

гелия-3, которые могли бы образоваться за счет слияния дейтерия еще с одним нуклоном каскадирования [10], практически не оказывает влияния на конечный результат.

Отсутствие заметного пика в других топологиях, когда суммарный заряд фрагментов с $Z_f \geq 2$ меньше пяти, можно качественно объяснить следующим образом. В таких каналах происходит большее число внутриядерных столкновений и более сильное разрушение исходного ядра, поэтому протоны, если они образованы в результате реализации (1), теряют свои исходные кинематические параметры, а их энергетический спектр сильно размазывается.

В работах [2, 11, 12] было показано, что приблизительно 22% кумулятивных протонов образуются за счет поглощения медленного π^+-мезона "квазидейтронной" парой нуклонов, т.е. в реакции

$$\pi^+ + \langle\langle d \rangle\rangle \rightarrow p\downarrow + p\uparrow. \qquad (2)$$

В работе [12] также был оценен вклад поглощения π^0-мезона квазидейтронной парой нуклонов в образование кумулятивных протонов, который составляет приблизительно 11% от общего сечения образования таких протонов.

Из кинематики реакции (2) следует, что между парой конечных протонов должны наблюдаться определенные кинематические корреляции, не зависящие от энергии и импульса промежуточного пиона и задаваемые только его массой m_π (если не учитывать пока ферми-движение квазидейтрона и энергию связи пары нуклонов в ядре)

$$\mu^2 = (T_1+T_2+2m-m_d)^2 - (p_1+p_2)^2 \approx (T_1+T_2)^2 - (p_1+p_2)^2 \approx m_\pi{}^2, \qquad (3)$$

где T_1, T_2, p_1, p_2, m − кинетические энергии, импульсы и масса конечных протонов, m_d – масса дейтрона.

Мы исследовали распределение по величине μ^2 в ^{16}Op-взаимодействиях при 3.25 А ГэВ/с. Для анализа отбирались события, по крайней мере, с одной парой однозначно идентифицированных протонов с импульсами в антилабораторной системе $p > 0.22$ ГэВ/с, хотя бы один из которых вылетает в кинематическую запрещенную область (в заднюю полусферу в а.л.с.). Такое ограничение по импульсу связано с подавлением фона испарительных протонов от развала ядра-кислорода.

На рис. 2 приведено экспериментальное распределение по величине μ^2. Видно, что распределение имеет максимум в области $-0.20 < \mu^2 < -0.10$. Сдвиг пика относи-

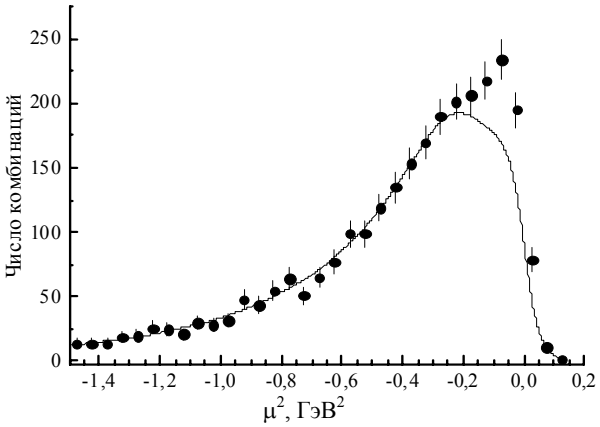


Рис. 2. Распределение по μ^2 в ^{16}Op-соударениях при 3.25 А ГэВ/с.

тельно величины $\mu^2 \approx m_\pi^2$ обусловлен влиянием энергии связи пары нуклонов в ядре, а расширение пика связано с величиной $\gamma \approx 2p_d(p_1+p_2)$, где p_d – ферми-импульс квазидейтрона. Сплошная кривая на рис. 2 – фоновое распределение, в котором пара протонов подобрана из разных событий. Оно нормировано к эксперименту в области $\mu^2 < -0.3$. Видно, что в области $\mu^2 < -0.3$ фон хорошо описывает эксперимент (χ^2/ст.св. = 0.51). Избыточное число комбинаций экспериментального спектра над фоновым спектром в области $\mu^2 > -0.3$ оказалось равным 220±15. Число кумулятивных протонов в рассматриваемых событиях оказалось равным 1077. Таким образом, доля кумулятивных протонов, образованных от распада «квазидейтронной» пары нуклонов в результате поглощения ею медленного положительного пиона (реакция (2)), составляет (20.4±1.5)%, что в пределах статистических погрешностей совпадает с результатами работ [11, 12], в которых также определен вклад реакции (2) в образование кумулятивных протонов в π^-C-взаимодействиях при 5 ГэВ/с [11] и нуклон-углеродных соударениях при 4.2 и 10 ГэВ/с [12].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты показывают, что наблюдаемая в энергетическом спектре протонов в интервале $T \approx 70–90$ МэВ структура связана с распадом двухнуклонной системы в результате поглощения ею медленного π-мезона. Более 20% кумулятивных протонов образуется в результате поглощения медленного π^+-мезона квазидейтронной парой нуклонов ядра. Вклад этого механизма в образование кумулятивных протонов не зависит от первичной энергии (от 3 до 300 ГэВ), типа легкого ядра-мишени (^{12}C, ^{16}O и ^{20}Ne) и первичной частицы (пион или протон).

ЛИТЕРАТУРА

1. Э.Х. Базаров. Автореф. дис. докт. физ.-мат. наук. (2015).
2. Б.С. Юлдашев и др., ЯФ **55**, 2963 (1992).
3. Э.Х. Базаров, ЯФ **68**, 1611 (2005).
4. Н. Ангелов, С.Л. Лутпуллаев и др., ЯФ **33**, 190 (1981).
5. С.Л. Лутпуллаев, Б.С. Юлдашев и др., ДАН УзССР **27**, №3, 27 (1980).
6. V.M. Asaturyan et al., Nucl. Phys. A **496**, 770 (1989).
7. В.В. Глаголев, М.Ю. Кратенко и др., ЯФ **58**, 2005 (1995).
8. В.В. Глаголев, М.Ю. Кратенко и др., Письма в ЖЭТФ **59**, 316 (1994).
9. В.Д. Липин, С.Л. Лутпуллаев и др., ЯФ **59**, 1042 (1996).
10. V.V. Glagolev, K.G. Gulamov et al., Euro. Phys. **11**, 285 (2001).
11. В.М. Асатурян и др., ЯФ **45**, 1059 (1987).
12. Д. Армутлийски и др., ЯФ **46**, 1712 (1987).