

Наблюдение рождения кумулятивных частиц в ядро-ядерных и нейтрино-ядерных взаимодействиях

В. В. Дубинина, Н. П. Егоренкова, В. И. Кроткова, Е. А. Пожарова, В. А. Смирнитский

Институт теоретической и экспериментальной физики им. А. И. Алиханова, 117218 Москва, Россия

Поступила в редакцию 31 мая 2004 г.

Анализируются экспериментальные данные по испусканию кумулятивных частиц, возникающих при взаимодействии ядер ^{56}Fe (FeEm) с импульсом 2.5 ГэВ/с и нейтрино (νEm) с энергией от 10 до 200 ГэВ с ядрами фотоэмульсии. Наблюдается корреляция между количеством кумулятивных частиц и вылетом вторичных заряженных частиц в (FeEm)- и (νEm)-взаимодействиях.

PACS: 25.10.+s, 25.70.-z

Что может быть общего в таких очень разных взаимодействиях, как ядро-ядерные и нейтрино-ядерные, кроме самого факта рождения кумулятивных частиц? В этой заметке мы показали, что есть явления, свойственные как ядро-ядерным, так и нейтрино-ядерным взаимодействиям.

Кумулятивный эффект, обнаруженный при взаимодействии адронов с ядрами, заключается в наблюдении частиц, рождение которых на свободном нуклоне запрещено кинематикой ядерных реакций. К настоящему времени это явление меньше всего исследовано в ядро-ядерных и нейтрино-ядерных взаимодействиях [1–3].

Изучение рождения кумулятивных частиц проводилось нами в рамках эксперимента по исследованию азимутальной анизотропии при взаимодействии ядер ^{56}Fe с ядрами фотоэмульсии (FeEm) [4]. Подробности отбора событий (FeEm) опубликованы в этой работе.

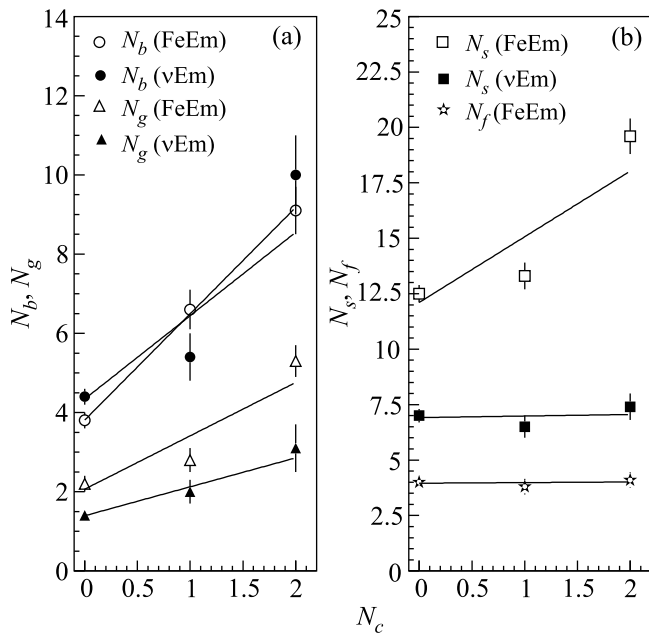
Поиск и измерения кумулятивных частиц проводились в угловом интервале $90 < \theta < 180^\circ$ относительно направления импульса ядра-снаряда. Отбирались релятивистские однозарядные частицы (s -частицы) с ионизацией, соответствующей $\beta > 0.7$, и g -частицы, имеющие пробег $R \geq 3.0$ мм в эмульсии и $\beta \leq 0.7$. Определение углов вылета частиц осуществлялось путем измерения координат зерен на их следах. Программа сопровождения обеспечивала необходимый диалог оператора с ЭВМ, что позволяло оперативно контролировать результаты измерений. Точность угловых измерений однозарядных частиц составляла $\cong 1$ мрад. Кумулятивные однозарядные частицы наблюдались в $(40 \pm 5)\%$ взаимодействий (FeEm).

Нам представлялось интересным рассмотреть в ядро-ядерных взаимодействиях (FeEm) совместное рождение кумулятивных частиц с вылетающими

вперед $0^\circ < \theta < 90^\circ$ b -, g -, s - и f -частицами и сравнить результаты с аналогичными данными, опубликованными в нашей работе [3], где изучались нейтрино-ядерные взаимодействия (νEm). В соответствии с фотоэмульсионной методикой [5], к b -частицам относятся медленные фрагменты ядра-мишени с кинетической энергией для протонов $T_p \leq 26$ МэВ (пробег в эмульсии $R \leq 3$ мм) и $\beta \leq 0.23$. В основном это испарительные протоны. К g -частицам относятся быстрые однозарядные частицы из ядра-мишени с кинетической энергией для протонов $26 \text{ МэВ} < T_p < 400 \text{ МэВ}$, имеющие относительную ионизацию $I/I_0 > 1.4$ (I_0 – плотность ионизации однозарядных релятивистских частиц), и скорость в интервале $0.23 < \beta \leq 0.7$. К s -частицам относятся частицы с относительной ионизацией $I/I_0 < 1.4$ и $\beta > 0.7$, что соответствует $T_p > 400$ МэВ. Среди s -частиц имеются пионы, провзаимодействовавшие протоны ядра-снаряда и однозарядные частицы из ядра-мишени. К фрагментам ядра-снаряда, f -частицам, относятся релятивистские многозарядные ($Z \geq 2$) и однозарядные частицы, вылетающие внутри фрагментационного конуса [5].

Все измеренные взаимодействия (FeEm) были разделены на три группы. Одна группа совсем не имела кумулятивных частиц, вторая – только одну и третья – две и более кумулятивных частицы. В каждой такой группе частиц измерялись средние значения множественностей b -, g -, s - и f -частиц.

Использование в качестве мишени ядерной фотоэмульсии позволяет обнаружить существование корреляции между числом кумулятивных частиц и средними множественностями b -, g -, s - и f -частиц, вылетающих вперед. Результаты наших измерений и данные по нейтрино-ядерным взаимодействиям приведены на рисунке. По данным, приведенным на рисунке,



Зависимость числа кумулятивных частиц (N_c) от средних множественностей b -, g -, s - и f -частиц в ядро-ядерных и нейтрино-ядерных взаимодействиях. Прямые проведены по результатам линейного фитирования

видна корреляция между числом кумулятивных частиц и средними множественностями b - и g -частиц в ядро-ядерных и нейтрино-ядерных взаимодействиях. Известно, что внутриядерные взаимодействия характеризуются множественностью g -частиц. Это, вероятно, и является причиной роста числа кумулятивных частиц с увеличением $\langle N_g \rangle$, причем необходимо, чтобы в нейтрино-ядерных (ν Em) столкновениях протонная струя формировалась в адроны внутри ядра. С ростом энергии нейтрино увеличивается длина формирования, что приводит к уменьшению вклада вторичных взаимодействий и, соответственно, снижению выхода кумулятивных частиц [3]. Количество рожденных кумулятивных частиц в (ν Em)-взаимо-

действиях не коррелировано со средней множественностью s -частиц. Это связано, возможно, с тем, что нейтрино взаимодействует с нуклонами ядра только один раз и образовавшаяся протонная струя не ответственна за рождение кумулятивных частиц. Их возникновение связано, скорее всего, с реакцией на (ν Em)-взаимодействие остаточного ядра-мишени. В ядро-ядерных взаимодействиях средняя множественность s -частиц зависит от прицельного параметра [6]. В центральных и полужентральных взаимодействиях в процессе соударения принимают участие многие нуклоны ядра-снаряда, что приводит к большой множественности всех вторичных частиц, в том числе и кумулятивных. Испускание f -частиц (фрагментов) возникает при развале ядра-снаряда и не имеет отношения к рождению кумулятивных частиц в (FeEm)-взаимодействиях.

Авторы благодарят В. А. Шейнкмана за содействие и помощь при облучении контрольных образцов ядерной фотоэмульсии на ускорителе ИТЭФ и полезные обсуждения, В. В. Шаманова – за помощь в организации обработки экспериментальных данных на ЭВМ.

1. S. Nagamija, M. C. Lemaire, E. Moeller et al., Phys. Rev. **C24**, 971 (1981).
2. А. А. Иванов, В. И. Конюшко, В. М. Кораблев и др., Письма в ЖЭТФ **30**, 390 (1979).
3. Р. Аммар, А. Бакич, Т. Барнет и др., Письма в ЖЭТФ **49**, 189 (1989).
4. В. В. Дубинина, Н. П. Егоренкова, В. И. Кроткова и др., Яд. физ. **67**, № 3, 1 (2004).
5. С. Пауэлл, П. Фаулер, Д. Перкинс, "Исследование элементарных частиц фотографическим методом", М.: Изд. иностр. лит., 1962.
6. P. L. Jain, G. Singh, and A. Mukhopadhyay, Phys. Rev. Lett. **74**, 1534 (1995).