

# Наблюдение $e^\pm$ в неупругом ( $e^+A$ )-взаимодействии

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

Институт теоретической и экспериментальной физики им. Алиханова, 117259 Москва, Россия

Поступила в редакцию 29 декабря 2012 г.

После переработки 22 марта 2013 г.

Приведены результаты наблюдения и анализа  $e^\pm$ , возникающих при взаимодействии позитронов с энергией 32 ГэВ с ядрами фотоэмульсии. Измерены угловые распределения частиц в интервале  $0^\circ$ – $180^\circ$ . В интервале углов  $145^\circ$ – $180^\circ$  измерена энергия частиц и вычислены значения  $x_B$ . Распределение по  $x_B$  соответствует значениям меньше 1 при  $Q^2 > 7.0$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Это означает, что  $e^\pm$  с энергией меньше 250 МэВ не связаны с многонуклонными корреляциями.

DOI: 10.7868/S0370274X13120023

**1. Введение.** Анализ экспериментальных результатов измерения неупругих взаимодействий лептонов, фотонов и адронов высоких энергий с ядрами приведен в работах [1]. Экспериментальные данные удовлетворительно описываются в предположении существования корреляций между нуклонами ядра-мишени на близких расстояниях (*SRC*, *shot-range correlation*). В работе сотрудничества CLAS [2] измерено инклюзивное рассеяние электронов  $A(e^-, e')X$  на легких и тяжелых ядрах. При  $1 < x_B < 3$  и  $Q^2 > 1.4$  (ГэВ)<sup>2</sup> экспериментальные данные подтверждают наличие корреляции SRC между двумя нуклонами (здесь  $x_B$  – бьёркеновская переменная,  $Q^2$  – квадрат переданного во взаимодействии 4-импульса). В работе [3] на этом же спектрометре измерены вероятности наблюдения корреляций SRC между двумя и тремя нуклонами ядра-мишени. В указанных работах использовались пучки электронов с энергией 4.4 и 4.7 ГэВ, жидкие (<sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He) и твердые (<sup>12</sup>C, <sup>56</sup>Fe) мишени. Неупругое рассеяние электронов измерялось в интервале углов от  $8^\circ$  до  $143^\circ$ . В работе [4] измерялось сечение реакции ( $pA$ ) на ядрах Be, Al, Cu и Ta с рождением антипротонов и  $\pi^-$ -мезонов. В результате измерений и вычислений при  $1 < x_B < 3$  наблюдались корреляции SRC между двумя и тремя нуклонами ядра-мишени. В упомянутых выше работах в угловом интервале  $145^\circ$ – $180^\circ$  не регистрировались позитроны, вылетающие из вершины взаимодействия “назад”. Эти позитроны, возможно, несут информацию о многонуклонных корреляциях SRC в ядре. Данное предположение необходимо экспериментально проверить.

**2. Эксперимент и результаты измерений.** В нашем эксперименте мы впервые рассмотрели взаи-

модействия позитронов с энергией 32 ГэВ с ядрами фотоэмульсии, в которых наблюдаются позитроны (электроны), вылетающие из взаимодействия “назад” в угловом интервале  $\theta$  (угол с направлением налетающего на ядро-мишень позитрона) от  $145^\circ$  до  $180^\circ$ . Взаимодействия позитронов с ядрами фотоэмульсии отбирались путем просмотра по площади на расстоянии не более 3–4 см от места входа пучка позитронов в эмульсионную камеру. Это необходимо, чтобы уменьшить вклад взаимодействий, вызванных позитронами, потерявшими значительную часть энергии из-за тормозного излучения.

Координатным методом у всех частиц измерялись угол заглупления (*dip*) и угол в плоскости эмульсии с направлением импульса частицы, вызвавшей взаимодействие ( $\varphi$ ). По этим двум углам вычислялся угол  $\theta$ .

Измерения проводились на автоматизированном микроскопе KSM, связанном в линию с ЭВМ. Программа сопровождения позволяла операторам контролировать измерения и проводила необходимые вычисления.

На рис. 1 показано распределение по  $\cos \theta$  от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  для релятивистских  $s$ -частиц. Как видно из рисунка, наблюдались  $s$ -частицы, вылетающие из вершины взаимодействия назад ( $90^\circ < \theta < 180^\circ$ ). Отношение числа частиц, летящих назад и вперед, составляет почти три порядка. Кроме  $s$ -частиц, наблюдается испускание  $g$ -частиц (протонов в интервале импульсов от 0.3 до 0.9 ГэВ/с). На рис. 2 приведено распределение по  $\cos \theta$  для протонов, полученное в наших измерениях, в сравнении с аналогичными измерениями из работы [5]. Нормировка проведена по данным интервала  $\cos \theta = -0.5$ . Результаты измерений угловых распределений протонов, вылетающих

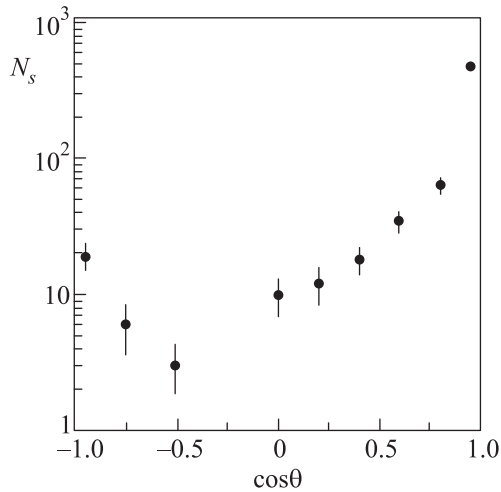


Рис. 1. Распределение по  $\cos \theta$   $s$ -частиц, возникающих при взаимодействии позитронов с энергией 32 ГэВ с ядрами фотоэмульсии ( $\theta$ -угол с направлением импульса первичной частицы)

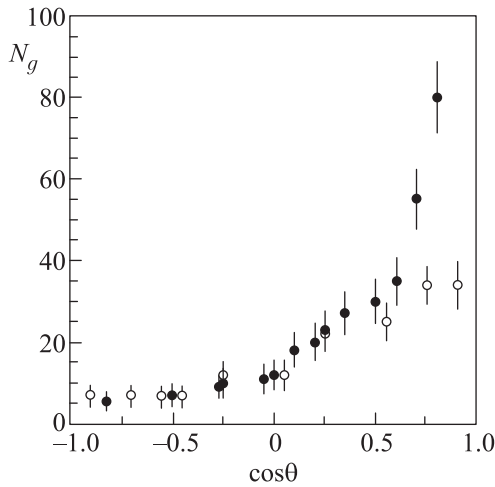


Рис. 2. Распределение по  $\cos \theta$  протонов ( $g$ -частиц), возникающих при взаимодействии позитронов с энергией 32 ГэВ с ядрами фотоэмульсии (светлые кружки – наши измерения,  $0.3 < P_p < 0.9$  ГэВ/с, черные кружки – данные из работы [5],  $0.506 < P_p < 1.2$  ГэВ/с)

из вершины взаимодействия, в этих двух работах находятся в согласии.

Отождествление частиц, летящих назад в интервале углов  $145^\circ < \theta < 180^\circ$ , проводилось путем измерения их скорости (относительной ионизации,  $I/I_0$ ) и импульса (многократного рассеяния,  $p\beta$ ). Здесь  $I$  – плотность зерен следа,  $I_0$  – плотность зерен пучковых частиц. На рис. 3 приведены результаты таких измерений. Частицами, у которых отношение  $I/I_0$  остается постоянным ( $\sim 1$ ), т.е. скорость практически не меняется, при изменении импульса от 15 до

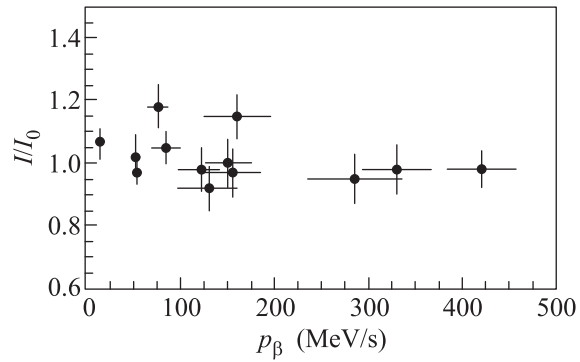


Рис. 3. Измерения относительной ионизации  $I/I_0$  и многократного рассеяния  $p\beta$   $s$ -частиц в интервале углов  $145 < \theta < 180^\circ$

250 МэВ/с, могут быть только позитроны или электроны. Для оценки примеси пионов к позитронам (электронам) в интервале импульсов 250–400 МэВ/с по измерениям относительной ионизации и многократного рассеяния требуется очень высокая точность, трудно достижимая в опытах с ядерной эмульсией. Оценка согласно работе [5] показывает, что в этом интервале импульсов с углами вылета больше  $145^\circ$  может наблюдаться  $\sim 1$ –2 пиона. Угловое распределение частиц, летящих назад в указанном интервале углов, и их энергия позволяют нам рассчитать и построить распределение этих частиц в зависимости от  $x_B$  (рис. 4). Видно, что это распре-

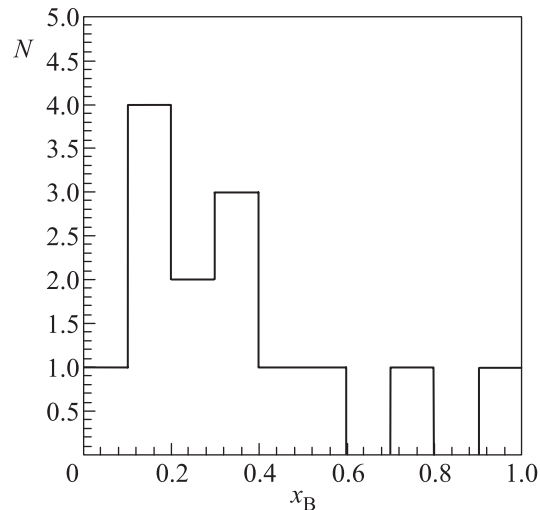
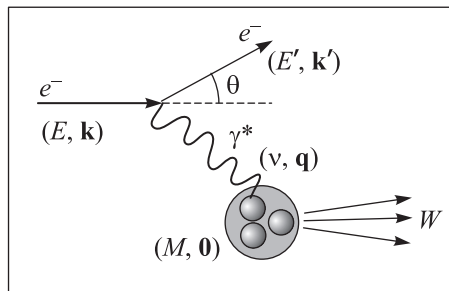


Рис. 4. Распределение по  $x_B$  частиц в интервале углов  $145 < \theta < 180^\circ$

ление соответствует значениям  $x_B < 1$  при  $Q^2 > > 7.0$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. На рис. 5 продемонстрировано определение этих величин и приведено модельное пред-



4-momentum transfer squared

$$Q^2 = -q^2 = 4EE' \sin^2 \theta / 2$$

Invariant mass squared

$$W^2 = M^2 + 2M\nu - Q^2$$

Vjorken variable

$$x = Q^2 / 2M\nu$$

Рис. 5. Неупругое рассеяние электронов на ядре ( $\nu = E - E'$ ) [6]

ставление неупругого рассеяния электрона на ядре. Этот рисунок взят нами из работы [6].

**3. Обсуждение результатов.** Рассеяние на большие углы позитронов с энергией 32 ГэВ на ядре-мишени может дать информацию о структуре ядра. Это показано в работе [3], где при рассеянии электронов с энергией 4–5 ГэВ в ядре-мишени наблюдались коррелированные образования, состоящие из 2–3 нуклонов. В этой работе в распределении по  $x_B$  обнаружено плато при  $x_B \approx 2$  и 3. При этом указанные корреляции не зависят от  $A$  ядра от  $^{12}\text{C}$  до  $^{56}\text{Fe}$ . В нашем опыте мишенью является ядерная

фотоэмульсия, имеющая сложный ядерный состав. В основном это легкие ядра С, N, O и тяжелые ядра Ag, Вг. Вычисленные по нашим экспериментальным данным значения  $x_B < 1$  позволяют сделать вывод о том, что  $e^\pm$  с энергией до 250 МэВ, вылетающие назад в угловом интервале от  $145^\circ$  до  $180^\circ$ , не несут информации о многонуклонных корреляциях. Мы не наблюдали ни одной частицы  $e^\pm$  с энергией больше или  $\sim 3$ –4 ГэВ, способной возникнуть при взаимодействии 32-геВных позитронов с многонуклонным образованием ядра-мишени. Наблюдение  $e^\pm$  с энергией до 250 МэВ, вылетающих назад из взаимодействия позитронов с ядром, вероятно, связано с многократным взаимодействием вторичных частиц внутри ядра.

Авторы благодарят В.А. Шейнкмана за внимание к работе и полезные обсуждения, а также В.В. Шаманова за помощь в обработке результатов измерений.

1. L. L. Frankfurt and M. I. Strikman, Phys. Rep. **76**(4), 215, (1981); Phys. Rep. **160**(5–6), 235, (1988).
2. K. S. Egiyan, N. B. Dashyan, M. M. Sargsian et al. (The CLAS Collab.), Phys. Rev. C **68**, 014313 (2003).
3. K. S. Egiyan, N. B. Dashyan, M. M. Sargsian et al. (The CLAS Collab.), Phys. Rev. Lett. **96**, 082501 (2006).
4. Yu. T. Kiselev, V. A. Sheinkman, A. V. Akindinov et al., Phys. Rev. C **85**, 054904, (2012).
5. P. V. Degtyarenko, Yu. V. Efremenko, V. B. Gavrilov et al., Z. Phys. A. Atomic Nuclei **335**, 231 (1990).
6. D. Gaskell and J. Arrigton, *International Workshop on Positrons*, Jefferson Lab. JPOS09, March 25, 2009.