

УДК 539.12

ПОПРАВКА ИМПУЛЬСА ДЕЙТРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ “eg3” ДЕТЕКТОРА CLAS

Н.Р. БАЛАСАНИЯН¹, С.Г. СТЕПАНИЯН²

¹Ереванский государственный университет, Армения

²Национальная лаборатория им. Т. Джефферсона, Ньюпорт Ньюз, США

(Поступила в редакцию 27 декабря 2009 г.)

При применении корректирующего пакета “elos” для поправки измеренного импульса дейтрона из-за ионизационных потерь в эксперименте фоторожения на мишени из жидкого дейтерия были обнаружены нехарактерные пики в распределении импульса дейтронов. В частности, подобные отклонения явно проявляются в инклюзивном канале реакции $\gamma + d \rightarrow d + \pi^- + (\pi^+)$. На основе эксклюзивного канала данной реакции осуществлена новая поправка импульса рассеянных дейтронов с учетом угла рассеяния. Подобная поправка приводит к существенному улучшению распределения импульсов дейтронов.

1. Введение

Многодетекторная установка CLAS [1] в лаборатории им. Т. Джефферсона (США) предназначена для исследования ядерных реакций путем регистрации рассеянных и рожденных частиц, таких как пионы (π), каоны (k), протоны (p), дейтроны (d) и т.д. Заряженные частицы, проходя через среду мишени и через различные участки детекторов, теряют свою энергию из-за ионизационных потерь. Основная часть потерь энергии частиц связана с взаимодействием со средой мишени, камерой рассеяния и стартового счетчика. Поэтому при регистрации заряженной частицы регистрируемый импульс фактически получается меньше, чем реальная его величина при рождении. Это наиболее явно проявляется при регистрации частиц с относительно большой массой, например, протонов и дейтронов.

В эксперименте “eg3” [2], выполненном на этом детекторе с декабря 2004 г. по январь 2005 г., проводилось исследование взаимодействия высокоэнергичных фотонов с мишенью дейтерия для изучения ядерных реакций

$$\gamma + d \rightarrow d + \pi^- + \pi^+, \quad \gamma + d \rightarrow d + \pi^- + (\pi^+). \quad (1)$$

При анализе этих реакций весьма важным является знание достоверных значений импульсов частиц, особенно, в случае второй инклюзивной реакции, где кинематические параметры нерегистрированных π^+ -мезонов определяются на основе измеренных параметров дейтронов и π^- -мезонов. Измеренные значения параметров этих частиц соответствуют истинным его значениям в опреде-

ленном приближении, поэтому принято проводить коррекцию величин параметров с применением определенных методов. Обычно для выполнения поправок величин импульсов частиц из-за ионизационных потерь, применяется специальный программный пакет “elos” [3], который и был использован в данном случае. Однако, результаты применения этой программы для дейтронов в эксперименте “eg3” оказались недостаточно корректными из-за несоответствия геометрии детектора в программе и эксперименте, поэтому возникла задача уточнения параметров дейтронов, что является важным условием для исследования приведенных реакций. Данная работа посвящена вопросам реализации поправок измеренных величин импульсов рассеянных дейтронов.

2. Реализация поправки

Измерения проводились с использованием системы CLAS, спроектированной для регистрации элементарных частиц, рожденных при взаимодействии электронных или фотонных пучков с мишенью. Это спектрометр с большим телесным углом захвата частиц (рис.1), который представляет собой систему детекторов, составной частью которых являются дрейфовые камеры, черенковские газовые счетчики, сцинтилляционные счетчики и электромагнитные калориметры. Данные экспериментальных измерений обрабатывались с помощью программного пакета ROOT [4]. Для этого была составлена программа на языке c++.

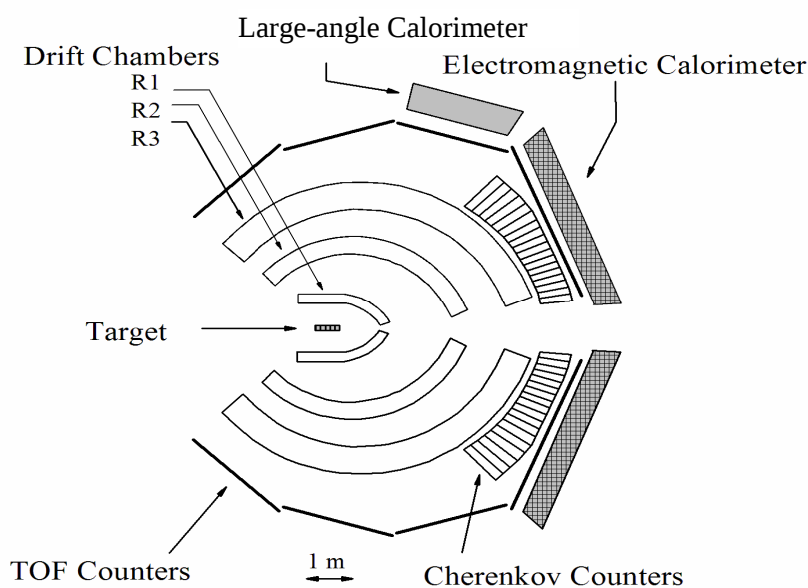


Рис.1. Схематическая структура детектора CLAS.

При исследовании инклюзивного канала реакции (1) были измерены импульсы дейтронов (P_d) и π^- -мезонов (P_π). Программный пакет “elos” хорошо отлажен для поправки величин импульсов заряженных мезонов. Однако приме-

нение этой программы для коррекции величин импульсов дейтронов не дало ожидаемого результата. На рис.2 представлено распределение импульсов дейтронов до (а) и после (б) коррекции. Из графиков видно, что после коррекции “elos” в распределении импульсов дейтронов появляются явно выраженные нехарактерные пики.

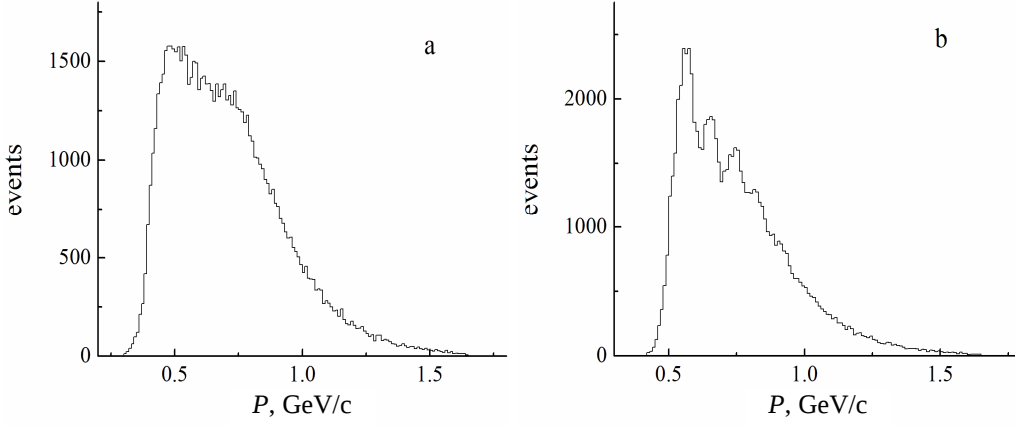


Рис.2. Распределение импульсов дейтронов до (а) и после (б) коррекции с помощью программного пакета “elos”.

Полученные результаты показывают, что для коррекции величин импульсов дейтронов необходима другая методика. Возможный метод осуществления поправки импульсов дейтронов в эксклюзивном канале может быть основан на скорректированных значениях импульсов π^+ - и π^- -мезонов. Для реализации поправки импульса дейтрона в качестве репера было использовано значение импульса дейтрона ($P_{\text{deut_miss}}$), полученное с помощью измеренных параметров фотона и мезонов в эксклюзивном канале реакции (1), согласно формулам

$$p_{\text{deut_miss}}(\mathbf{P}_{\text{deut_miss}}, E_{\text{deut_miss}}) = p_{\gamma}(\mathbf{P}_{\gamma}, E_{\gamma}) + p_d(\mathbf{P}_d, M_d) - p_{\pi^+}(\mathbf{P}_{\pi^+}, E_{\pi^+}) - p_{\pi^-}(\mathbf{P}_{\pi^-}, E_{\pi^-}),$$

$$P_{\text{deut_miss}} = \sqrt{P_{\text{deut_miss}}^x{}^2 + P_{\text{deut_miss}}^y{}^2 + P_{\text{deut_miss}}^z{}^2}, \quad (2)$$

где $p_i(\mathbf{P}_i, E_i)$ – четырехмерный вектор импульса частиц, $\mathbf{P}_i$ – трехмерный вектор импульса частиц, E_i – энергия частиц, $i = \text{deut_miss}$ – рассеянный дейтрон, γ – фотон пучка, d – дейтрон мишени, M_d – масса дейтрона.

Разница между реперными и измеренными значениями импульсов дейтронов зависит от величин импульсов. При малых значениях отклонение измеренной величины импульса от его действительного значения больше. Отклонение величины импульсов дейтронов зависит также от угла рассеяния дейтронов, поскольку при разных углах рассеяния частицы проходят через различные толщины вещества. Следовательно, введение поправок в зависимости от угла

рассеяния является необходимым, особенно при изучении рассеяния тяжелых частиц.

Проводилось исследование относительного отклонения величины импульсов дейтронов ($\delta P/P_m$, где $\delta P = P_{\text{miss_deut}} - P_m$, P_m – измеренная величина импульса дейтрона) в зависимости от импульса и угла рассеяния дейтрона. Пример такого распределения при углах рассеяния 35–40° приведен на рис.3. Для получения соответствующей зависимости область импульсов дейтронов была разбита на 12 участков одинаковой ширины и распределение величины $\delta P/P_m$ было фитировано с помощью гауссовской функции. Для каждого участка определялось его среднее значение. На основе этих значений получены эмпирические зависимости $\delta P/P_m$ от величины импульса.

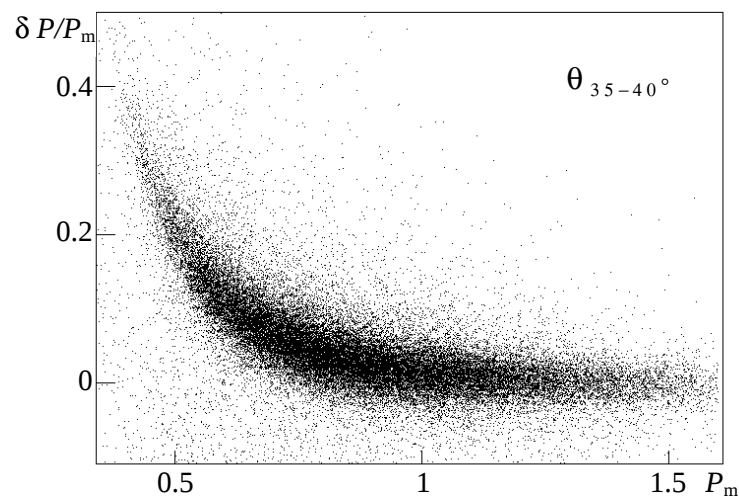


Рис.3. Относительное отклонение величины импульсов дейтронов в зависимости от импульса при углах рассеяния 35–40°.

3. Результаты и обсуждение

Зависимость относительного отклонения импульса дейтрона от величины импульса может быть описана с помощью эмпирической формулы

$$\frac{\delta P}{P_m} = a_0 + \frac{a_1}{P_m} + \frac{a_2}{P_m^2} + \frac{a_3}{P_m^3}, \quad (3)$$

где δP – отклонение импульса дейтрона, a_0, a_1, a_2, a_3 – эмпирические коэффициенты, которые зависят от угла рассеяния дейтронов. В табл.1 приведены величины этих коэффициентов при разных углах рассеяния.

На рис.4 приведено несколько функциональных зависимостей $\delta P/P_m$ от импульса дейтрона при углах 20–25°, 35–40° и 55–60°. Данные были сгруппированы в угловом интервале 5°, начиная с угла 20°.

Табл.1. Коэффициенты для формулы (3) при разных углах рассеяния дейтронов.

θ	a_0	a_1	a_2	a_3
20–25°	0.0320154	–0.113668	0.103352	6.40305×10^{-12}
25–30°	0.0355521	–0.122006	0.104439	7.36259×10^{-5}
30–35°	0.0354331	–0.120857	0.100341	1.22084×10^{-12}
35–40°	0.0285005	–0.107011	0.0923535	2.99831×10^{-14}
40–45°	0.029365	–0.106449	0.0905546	4.33681×10^{-17}
45–50°	0.0212762	–0.0907391	0.0830138	1.56749×10^{-14}
50–55°	0.0194318	–0.0869036	0.0799187	1.28478×10^{-16}
55–60°	0.0202125	–0.0865612	0.0786714	3.85353×10^{-15}
60–65°	0.0200013	–0.082343	0.07593	4.55336×10^{-13}
65–70°	–0.0006624	–0.0548802	0.067458	4.60769×10^{-13}

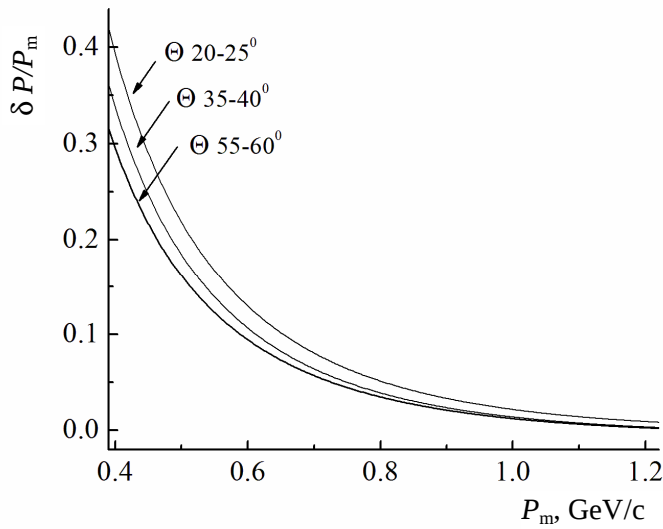


Рис.4. Относительное отклонение импульсов дейтронов в зависимости от величины их импульсов при разных углах рассеяния.

Как видно из рисунка, при малых значениях импульсов относительная разница между измеренной величиной импульса и его действительным значением в зависимости от угла рассеяния может изменяться более чем на 20%.

Основываясь на формуле (3), скорректированное значение импульса дейтрона будет определяться следующим образом:

$$P = P_m + P_m f(P_m, \theta), \quad (4)$$

где P – скорректированное значение величины импульса, P_m – измеренное значение импульса дейтрона, $f(P_m, \theta)$ – функция поправки.

Результаты поправки величины импульсов дейтронов приведены на рис.5, где представлено распределение импульсов дейтронов. Как видно из графика, по сравнению с рис.2б отсутствуют нехарактерные пики, полученные при использовании коррекции с помощью программного пакета “elos”.

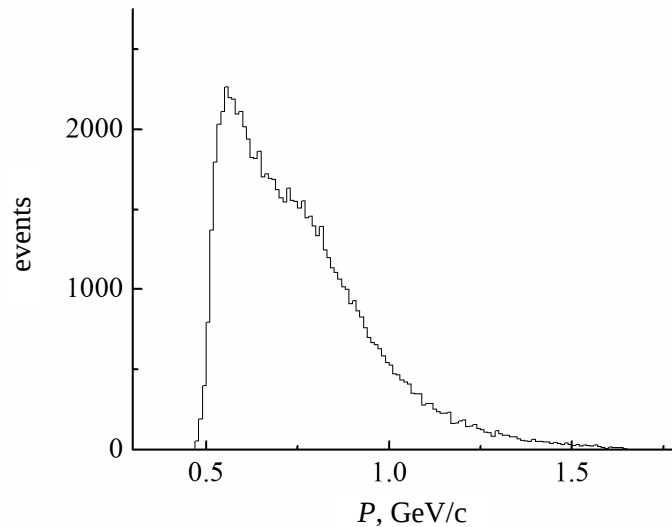


Рис.5. Распределение импульсов дейтронов с учетом предложенной поправки величины импульсов дейтрона.

4. Заключение

При исследовании ядерных реакций на установке CLAS обычно коррекция импульсов заряженных частиц из-за ионизационных потерь осуществляется при помощи программного пакета “elos”. Использование этого корректирующего пакета для дейтронов привело к нехарактерным пикам в импульсном распределении дейтронов, что явно проявилось в инклюзивном канале реакции $\gamma + d \rightarrow d + \pi^- + (\pi^+)$ в эксперименте “eg3”. Поэтому коррекция импульсов дейтронов была выполнена, основываясь на эксклюзивной реакции $\gamma + d \rightarrow d + \pi^- + \pi^+$, с использованием корректирующего программного пакета “elos” только для пионов и с учетом угловой зависимости рассеяния дейтронов. Такая коррекция привела к более правильному распределению импульсов дейтронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **B.A.Mecking et al.** Nucl. Instr. and Meth. A, **503**, 513 (2003).
2. http://www.jlab.org/exp_prog/generated/apphallb.html, E04-010.
3. **E.Pasyuk.** CLAS-NOTE 2007-016 (2007).
4. **R.Brun, F.Rademakers.** Nucl. Instr. and Meth. A, **389**, 81 (1997).

ԴԵՅՏՏՐՈՆԻ ԻՄՊՈԻԼՍԻ ՈՒՂՂՈՒՄԸ
CLAS ԴԵՏԵԿՏՈՐԻ “eg3” ԳԻՏԱՓՈՐՁՈՒՄ

Ն.Ռ. ԲԱԼԱՍՅԱՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

Հեղուկ դեյտերիումի թիրախի վրա իրականացված ֆոտոռոնման գիտափորձի արդյունքների մշակման ժամանակ “elos” ծրագրային փաթեթի կիրառումը գրանցված դեյտրոնի իմպուլսի ճշգրտման համար ի հայտ բերեց ոչ բնութագրական պիկեր դեյտրոնի իմպուլսի բաշխվածության մեջ: Մասնավորապես՝ շեղումը լավ արտահայտված է $\gamma + d \rightarrow d + \pi^-$ (π^+) ինկլյուզիվ ռեակցիայում: Հիմնվելով այդ ռեակցիայի էքսկլյուզիվ կանալի վրա, իրականացվել է դեյտրոնի իմպուլսի արժեքի ուղղում հաշվի առնելով վերջինիս ցրման անկյունը: Այս ուղղումը լավացրեց դեյտրոնների իմպուլսի բաշխվածությունը:

CORRECTION OF DEUTERON MOMENTUM
IN “eg3” EXPERIMENT ON CLAS DETECTOR

N.R. BALASANYAN, S.G. STEPANYAN

Using energy loss correction package “elos” for deuteron momentum correction in the data analysis of photoproduction experiment on deuterium, the nonrelevant peaks have been observed in the momentum distribution of deuterons. In particular, such deviations have been clearly seen in inclusive channel of the $\gamma + d \rightarrow d + \pi^-$ (π^+) reaction. A new correction of deuteron momentum is realized based on that reaction’s exclusive channel with taking into account the scattering angle of recoil deuteron. This correction leads to the essential improvement of the deuteron momentum distribution.