

**ОТНОШЕНИЕ ФАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ РЕАКЦИЙ ОДИНОЧНОГО И ДВОЙНОГО  
ФОТОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ НА ДЕЙТРОНЕ**

М.Я. Кузин, Е.С. Карпенко, А.Ю. Логинов

Научный руководитель: инженер, к.ф-м.н. А.Ю. Логинов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mrmatve@gmail.com](mailto:mrmatve@gmail.com)

**RATIO OF THE PHASE VOLUMES OF SINGLE AND DOUBLE PION PHOTOPRODUCTION  
ON A DEUTERON**

M.Ya. Kuzin, E.S. Karpenko, A.Yu. Loginov

Scientific Supervisor: engineer, A.Yu. Loginov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [mrmatve@gmail.com](mailto:mrmatve@gmail.com)

***Abstract.** In this paper, we analyzed the ratio of the experimental and total phase volumes of reactions of single and double pion photoproduction on deuterons as a function of the photon energy. To determine the experimental phase volume, limitations were used in the DEUTERON experiment at the VEPP-3 at INP SB RAS.*

**Введение.** Эксперименты по изучению поляризационных наблюдаемых в фотореакциях на дейтроне ведутся на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3 в ИЯФ СО РАН с конца 80-х прошлого века. Одним из изучаемых каналов реакций в этих экспериментах является фоторождение отрицательно-заряженных пионов на дейтронах. В работе [1] была измерена тензорная асимметрия фоторождения пи-минус мезонов линейно-поляризованными фотонами, в работах [2, 3] измерены компоненты тензорной анализирующей способности фоторождения пи-минус мезонов на дейтронах. Постановка этих экспериментов [1-3] не предполагала регистрацию рассеянного электрона, что не позволяло восстановить энергию и углы вылета виртуального фотона. При этом кинематика реакции  $\gamma d \rightarrow \pi^- p p$  восстанавливалась в предположении рождения одного пи-мезона, и отделить события реакции  $\gamma d \rightarrow \pi^- p p \pi^0$  из экспериментальной статистики не представлялось возможным. В связи с этим представляет интерес сделать количественные оценки отношения экспериментального и полного фазовых объемов для реакций одиночного и двойного фоторождения пи-минус мезона на дейтроне.

В представленной работе выполнен анализ отношений экспериментального и полного фазовых объемов вышеуказанных реакций для эксперимента [2, 3] и для эксперимента, планируемого к проведению в 2020 году на установке «ДЕЙТРОН» в ИЯФ СО РАН.

**Моделирование.** Расчет фазовых объемов осуществлялся методом Монте-Карло.

Говоря о состоянии  $n$  частиц, задаются 4-импульсы этих частиц. Пространство состояний – импульсное пространство. Элемент объем фазового пространства – это произведение 4-х дифференциалов:

$$dS = d^4 p_1 d^4 p_2 \dots d^4 p_n. \quad (1)$$

Интеграл состояний – весь объем названного фазового пространства. Требование помещать частицу на

«массовую поверхность», а все их вместе – на «энергетическую поверхность», вынуждают записывать элемент фазового пространства в виде:

$$dS = \prod_1^n d^4 p_i \delta(p_i^2 - m_i^2) \delta^4 \left( \sum_1^n p_i - P_n \right). \quad (2)$$

Используя свойство  $\delta$ -функции при интегрировании, элемент фазового пространства можно записать в виде:

$$dS = \prod_1^n \frac{d^3 \overline{p}_i}{2\omega_i} \delta^4 \left( \sum_1^n p_i - P_n \right). \quad (3)$$

Для того чтобы элемент фазового объема  $dS$  интегрировать по формуле 3, необходимо выбрать переменные интегрирования, чтобы их пределы их интегрирования не зависели от значений, полученных другими переменными.

В системе  $0_n$  центра масс всех  $n$  частиц нет ограничений на направление движения любой из частиц, например  $n$ . Направление частицы будет определяться косинусом полярного угла  $\eta_n^*$  и азимутом  $\varphi_n^*$ , которые меняются в своих естественных пределах. Также зададимся энергосодержанием  $T_{n-1}$   $n-1$  частиц в их системе покоя, с помощью которого определяется масса компаунд-частицы  $M_{n-1}$ . Величина  $T_{n-1}$  изменяется от 0 до  $T_n$ . Таким образом, импульс частицы  $n$  в системе покоя  $0_n$ :

$$\omega_n^* = \frac{M_n^2 + m_n^2 - M_{n-1}^2}{2M_n}, \quad p_n^* = \sqrt{\omega_n^{*2} - m_n^2}. \quad (4)$$

Пользуясь инвариантностью  $d^3 \overline{p}_i / 2\omega_i$ , получим:

$$\frac{d^3 \overline{p}_i}{2\omega_i} = \int_0^{T_n} \left( p_n^* M_{n-1} / 2M_n \right) dT_{n-1} \int_{-1}^1 d\eta_n^* \int_0^{2\pi} d\varphi_n^*. \quad (5)$$

Так как импульс частицы  $n$  определен, то его можно убрать из под аргумента  $\delta$ -функции.

Аналогично поступая для остальных частиц до 2 и беря интеграл от оставшейся  $\delta$ -функции, получаем выражение для фазового объема:

$$S_n = \int_0^{T_n} dT_{n-1} \int_{-1}^1 d\eta_n^* \int_0^{2\pi} d\varphi_n^* \int_0^{T_{n-1}} dT_{n-2} \int_{-1}^1 d\eta_{n-1}^* \int_0^{2\pi} d\varphi_{n-1}^* \dots \int_{-1}^1 d\eta_2^* \int_0^{2\pi} d\varphi_2^* \cdot 2^{-n} M_n^{-1} p_n^* p_{n-1}^* \dots p_2^*. \quad (6)$$

Экспериментальный фазовый объем ограничен. Для нахождения доли фазового объема использовался метод Монте-Карло. Сначала находился  $f_{\max}$  – максимум функции  $2^{-n} M_n^{-1} p_n^* p_{n-1}^* \dots p_2^*$ . Потом равномерно разыгрывались все переменные интегрирования и максимум функции, после чего сравнивалось разыгранное значение максимума функции со значением функции, соответствующие случайно разыгранному переменным. Если разыгранное значение максимума функции оказывалось меньше, то к первому счетчику прибавлялась единица. После этого полученные значения переменных в лабораторной системе сравнивались с ограничениями, и в случае совпадения ко второму счетчику прибавлялась единица. Доля фазового объема будет определяться отношением срабатываний второго счетчика к срабатыванию первого.

Данный алгоритм был реализован на языке программирования C++ для энергий гамма-кванта от 305 до 2005 МэВ с шагом 20 МэВ, каждый шаг выполнялся до набора первым счетчиком миллиона событий.

**Результаты.** На рисунке 1 представлена зависимость доли экспериментального фазового объема для реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  и  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-\pi^0$ . В качестве экспериментального фазового объема использовались следующие ограничения: кинетические энергии обоих протонов в пределах (50÷200) МэВ, полярные углы вылета протонов – (50÷90)°, азимутальный угол одного из протонов  $\pm 30^\circ$ , второго (150÷210)°.

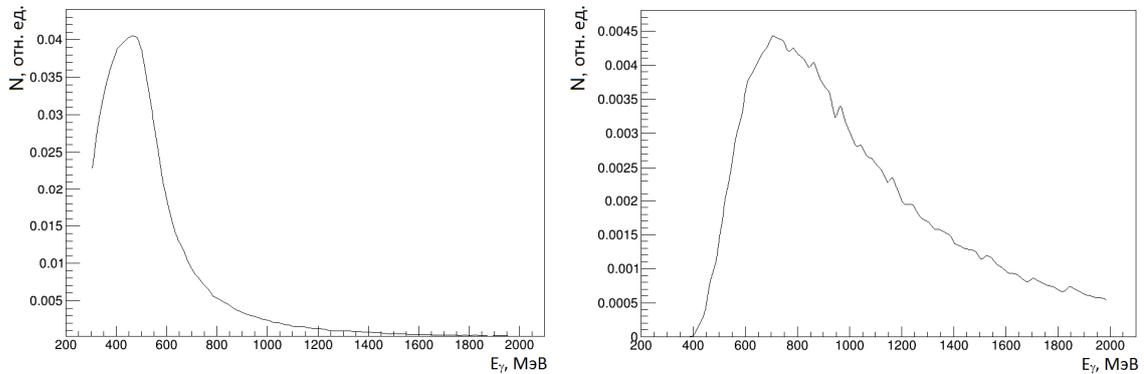


Рис. 1. Доля экспериментального фазового объема в зависимости от энергии фотона.

Слева – для реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$ , справа –  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-\pi^0$

На рисунке 2 приведено отношение долей экспериментального фазового объема реакций  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  и  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-\pi^0$ . Как видно, для энергии фотона менее 500 МэВ вклад двойного рождения пионов пренебрежимо мал, что позволяет восстанавливать кинематику реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  только по зарегистрированным протонам.

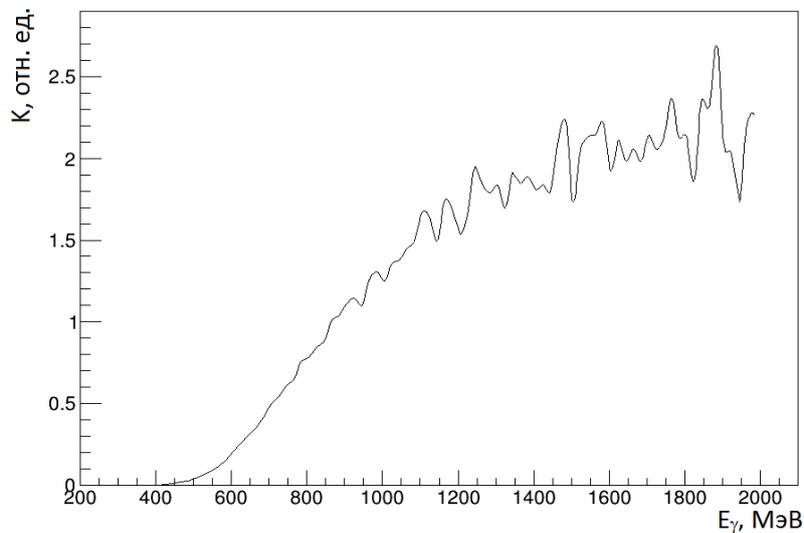


Рис. 2. Распределение событий по недостающей эффективной массе

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-00013.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gauzshtein V.V. et al. // European Physical Journal A – 2018. – V. 54:167.
2. Gauzshtein V.V. et al. // Nuclear Physics A – 2017. – V. 968. – P. 23.
3. Gauzshtein V.V. et al. // International Journal of Modern Physics E. – 2018. – V. 27:1850082.