

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Ордена Ленина Сибирское отделение

В.Ф. Дмитриев

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА СЕЧЕНИЕ  
И УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$

ИЯФ 2005-34

НОВОСИБИРСК  
2005

**Влияние поляризации  
на сечение и угловое распределение  
продуктов реакции  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$**

*В.Ф. Дмитриев*

Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера  
630090 Новосибирск СО РАН

**Аннотация**

В работе рассматривается влияние поляризации начальных частиц на выход  $\alpha$ -частиц и их угловое распределение. Показано, что поляризация начальных частиц может увеличить выход  $\alpha$ -частиц в 1.6 раза. При этом угловое распределение  $\alpha$ -частиц становится анизотропным.

**Polarization dependence  
of the reaction products yield  
and the angular distribution  
for the reaction  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$**

*V.F. Dmitriev*

Budker Institute of Nuclear Physics  
630090 Novosibirsk, SB RAS

**Abstract**

We discuss the influence of the initial particles polarization on  $\alpha$ -particles yield and their angular distribution. It is shown that 100% polarization of the initial particles can increase  $\alpha$ -particles yield by the factor 1.6. The angular distribution becomes anisotropic.

---

# 1 Введение

Использование безнейтронных реакций для получения энергии в реакциях ядерного синтеза представляет определенный интерес ввиду их большей радиационной безопасности и экологической чистоты. Одной из таких реакций является реакция  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$  с последующим развалом  $^8\text{Be}^*$  на 2  $\alpha$ -частицы [1]. Реакция имеет ярко выраженный резонанс при энергии протона в с.ц.м. 670 КэВ. Резонанс отвечает возбужденному состоянию ядра  $^{12}\text{C}$  с энергией 16.57 МэВ, с квантовыми числами  $2^-$  и с изоспином  $T=1$ . Основная мода распада на  $\alpha$ -частицу и возбужденное состояние  $^8\text{Be}^*$  с энергией 3.06 МэВ и квантовыми числами  $2^+$  и  $T=0$ . Распад идет с нарушением изоспина, поэтому ширина резонанса достаточно мала. При энерговыделении 6.14 МэВ она составляет примерно 200 КэВ. Это приводит к тому, что сечение в пике оказывается большим,  $\sim 1.2$  барна. Поскольку возбужденное состояние углерода имеет отрицательную четность, то орбитальный момент относительного движения  $\alpha$ -частицы и  $^8\text{Be}^*$  может принимать только нечетные значения. В нашем случае  $L = 1, 3$ .

## 2 Амплитуда реакции

Поскольку протон захватывается в  $s$ -волне, то амплитуду реакции можно представить в виде:

$$F_{\sigma\mu}^\lambda = C_{1/2\sigma 3/2\mu}^{2M} [f_1 C_{1m 2\lambda}^{2M} Y_{1m}(\theta\phi) + f_3 C_{3m 2\lambda}^{2M} Y_{3m}(\theta\phi)], \quad (1)$$

где  $C_{1/2\sigma 3/2\mu}^{2M}$  – коэффициент Клебша-Гордана описывающий сложение спинов начальных частиц в полный момент  $J = 2$ , а два

других коэффициента отвечают сложению орбитального момента  $L = 1$  и  $3$  и спина конечного ядра  ${}^8\text{Be}^*$  в полный момент распадающегося состояния.  $f_1$  и  $f_3$  – амплитуды распада в каналы с орбитальным моментом  $L = 1$  и  $3$  соответственно. По повторяющимся индексам подразумевается суммирование.

Для неполяризованных частиц дифференциальное сечение получается возведением амплитуды (1) в квадрат по модулю, суммированием по конечным и усреднением по начальным спиновым состояниям

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{8} \sum_{\sigma\mu\lambda} |F_{\sigma\mu}^\lambda|^2.$$

Это дает:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{5}{8} \left[ \frac{|f_1|^2}{4\pi} + \frac{|f_3|^2}{4\pi} \right], \quad (2)$$

в силу ортогональности коэффициентов Клебша-Гордана с разными орбитальными моментами. Таким образом, в случае неполяризованных частиц  $\alpha$ -частицы летят изотропно. Коэффициент  $5/8$  есть вес состояния с полным моментом  $J = 2$  в произведении волновых функций со спином  $1/2$  и  $3/2$ . Полное сечение в резонансе дается просто умножением выражения (2) на  $4\pi$ ,

$$\sigma = \frac{5}{8} [|f_1|^2 + |f_3|^2]. \quad (3)$$

В случае, когда обе начальные частицы поляризованы в одном направлении, полное сечение увеличивается в  $8/5$  раз за счет того, что состояние с полным моментом  $2$  реализуется с вероятностью  $1$ , а не  $5/8$ , как в случае неполяризованных частиц. Угловое распределение при этом становится анизотропным. Оно сильно зависит от соотношения между амплитудами  $f_1$  и  $f_3$ . Если вклад  $f_3$  мал, то оно упрощается и принимает вид:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{unpol} \frac{4}{5} (1 + 3 \cos^2 \theta). \quad (4)$$

В этом случае сечение сильно анизотропно. Вдоль поля летит в  $4$  раза больше  $\alpha$ -частиц, чем в поперечном направлении. На рис.1

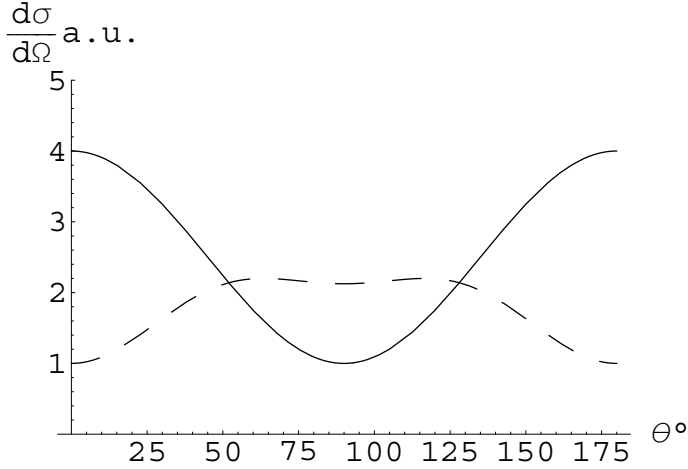


Рис. 1: Угловые распределения альфа-частиц в случае доминирования  $p$ -волны (сплошная кривая) или  $f$ -волны (пунктирная кривая)

приведены угловые распределения  $\alpha$ -частиц в случаях, когда доминирует одна из волн. Видно, что степень анизотропии разная. В случае  $p$ -волны альфа-частицы летят, в основном, вдоль поля, как упоминалось выше, а в случае доминирования  $f$ -волны – поперек поля и с меньшей степенью анизотропии. В общем случае угловое распределение имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{d\Omega} \sim & |f_1|^2(1 + 3\cos^2\theta) - \frac{1}{2}\text{Re}(f_1f_3^*)(3 - 6\cos^2\theta - 5\cos^4\theta) \\ & + \frac{1}{8}|f_3|^2(17 + 6\cos^2\theta - 15\cos^4\theta). \end{aligned} \quad (5)$$

Различные варианты случаев, когда  $f_1$  и  $f_3$  сравнимы приведены на рис.2. Видно, что анизотропия существенно зависит от знака интерференции  $p$ - и  $f$ -волн. В случае отсутствия интерференции кривая (штрих-пунктир на рис.2) есть просто усредненная сумма двух кривых рисунка 1.

В заключение, в работе исследовано влияние поляризации на выход альфа-частиц в реакции  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$ . Показано, что поля-

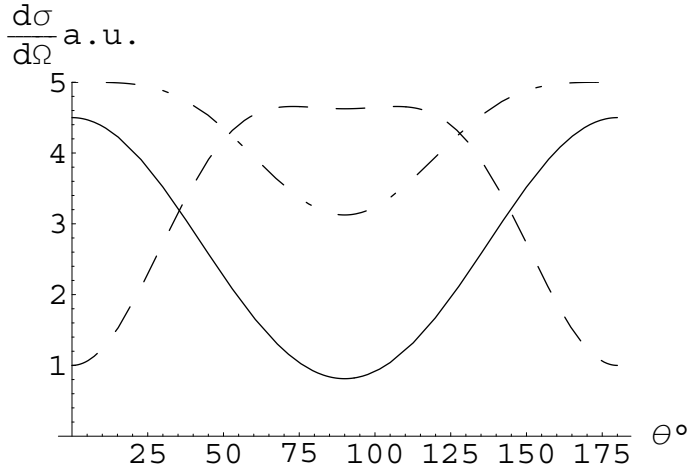


Рис. 2: Угловые распределения альфа-частиц в случаях сравнимого вклада  $p$ - и  $f$ -волн. Сплошная кривая отвечает положительной интерференции  $p$ - и  $f$ -волн, пунктирная кривая – отрицательной интерференции. Штрих-пунктирная кривая отвечает отсутствию интерференции.

ризация протона и ядер бора увеличивает выход альфа-частиц в среднем в 1.6 раза. Угловые распределения альфа-частиц анизотропны. Характер анизотропии существенно зависит от соотношения амплитуд распада в конечные состояния с  $L = 1$  и  $L = 3$ .

Автор выражает признательность В.И. Волосову за постановку вопроса о влиянии поляризации.

## Список литературы

- [1] W.M. Nevins, R. Swain, Nucl. Fusion **40**, 865 (2000).

*В.Ф. Дмитриев*

**Влияние поляризации  
на сечение и угловое распределение  
продуктов реакции  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$**

*V.F. Dmitriev*

**Polarization dependence  
of the reaction products yield  
and the angular distribution  
for the reaction  $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}^*$**

ИЯФ 2005-34

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 29.06.2005 г.

---

Сдано в набор 30.06.2005 г.

Подписано в печать 30.06.2005 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0.4 печ.л., 0.3 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 34

---

Обработано на ИВМ РС и отпечатано на  
роталпринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

*Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*