

О ПРИМЕНЕНИИ КОЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗАТОРА  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Ю. Г. Балашко

УДК 539.171:539.1.08

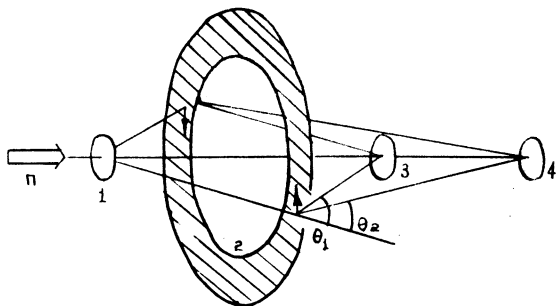
Отмечена возможность использования кольцевого анализатора для измерения передачи поляризации, в частности, в реакциях (d,p).

Как известно, основная трудность при проведении поляризационных экспериментов была связана с низкой интенсивностью поляризованных пучков, получаемых после первого и тем более второго рассеяния. В 1961 г. Бринкман /1/ предложили кольцевой поляриметр, позволяющий существенно повысить скорость счета за счет увеличения телесного угла счетчика на рассеиватель, являющийся анализатором поляризации, возникающей при предшествующем рассеянии. Эта идея получила дальнейшее развитие и практическое осуществление в работах сотрудников ОИЯИ /2,3/.

Создание источников поляризованных ионов позволило резко сократить длительность измерений при простейших поляризационных экспериментах. Однако в более сложных случаях, при исследовании передачи или вращения поляризации, интенсивность по-прежнему является фактором, ограничивающим экспериментальные возможности. Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы рассмотреть возможности применения кольцевого анализатора в экспериментах по измерению передачи поляризации при использовании источников поляризованных ионов.

Кратко напомним принцип кольцевого анализатора. Вместо классического метода, основанного на измерении "право-левой" асимметрии, здесь используется различие анализирующих способностей при двух углах. Частицы первичного, неполяризованного пучка (П) (см. рис. 1) приобретают поляризацию Р в результате рассеяния на первой мишени (1), а затем испытывают рассеяние на кольцевой мишени (2), играющей роль анализатора, и регистрируются под углами  $\theta_1$  и  $\theta_2$  двумя счетчиками (3), (4), расположенными на

разных расстояниях от кольцевого рассеивателя на оси системы. Если для этих двух углов известны анализирующие способности кольцевого рассеивателя  $A_1$  и  $A_2$  и сечения рассеяния  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , исходя



Р и с. I. Схема кольцевого анализатора. Стрелками показано направление поляризации

из обычного выражения  $N \sim G\sigma(1 + \bar{P}A)$ , можно написать следующее выражение для "асимметрии":

$$\eta = \frac{N'_1 - N'_2}{N'_1 + N'_2} = \frac{P(A_1 - A_2)}{P(A_1 + A_2) - 2}, \quad (I)$$

где  $N'_1 = N_1/G_1\sigma_1$ ,  $N'_2 = N_2/G_2\sigma_2$ ,  $G_1, G_2$  - геометрические факторы счетчиков (3), (4),  $N_1, N_2$  - зарегистрированные ими числа импульсов. Из выражения (I) легко определить неизвестную поляризацию  $P$ .

Отметим две принципиальные особенности рассматриваемого анализатора: 1) Ось первичного пучка является осью симметрии системы бесконечного порядка, что позволяет проинтегрировать эффект по всему кольцевому рассеивателю. 2) Возникающая поляризация перпендикулярна к общей плоскости первого и второго рассеяния.

При использовании такой схемы для измерения передачи поляризации первичный пучок должен быть поляризован. На первой мишени происходит передача поляризации, и результирующая поляризация анализируется кольцевым рассеивателем.

Первое из отмеченных свойств предполагает совпадение оси пучка с осью симметрии спинового состояния его частиц. Очевидно,

это исключает возможность исследования передачи поляризации при рассеянии нуклонов (или реакциях типа  $(N,N)$ ) в такой геометрии, поскольку проекция первичной поляризации на нормаль к плоскости рассеяния будет равна нулю. (Здесь не рассматривается случай, когда плоскости первого и второго рассеяния не совпадают, который приводит к геометрии, едва ли осуществимой на практике. Случай реакций типа  $(p,d)$  будет рассмотрен ниже).

Несколько иначе обстоит дело в случае пучка поляризованных дейтронов. Рассмотрим прежде всего передачу поляризации в реакциях типа  $(d,p)$ . Поляризация протонов, вылетающих в направлении  $\theta, \varphi$ , записывается в виде /4/:

$$\langle \sigma_{y'} \rangle I_1(\theta, \varphi) = I_{01}(\theta) \left[ P_0^{Y'} + 2\text{Im} \langle T_{11} \rangle \text{Im} T_{11}^{Y'} + \langle T_{20} \rangle T_{20}^{Y'} + \right. \\ \left. + 2\text{Re} \langle T_{21} \rangle \text{Re} T_{21}^{Y'} + 2\text{Re} \langle T_{22} \rangle \text{Re} T_{22}^{Y'} \right]. \quad (2)$$

Здесь  $\langle T_{JM} \rangle$  - средние значения спин-тензоров поляризации дейтронов, отнесенные к прямоугольной системе координат  $(x, y, z)$ , ось  $z$  которой направлена по импульсу дейтронов, а ось  $y$  - по нормали к плоскости рассеяния;  $T_{JM}^{Y'}$  - коэффициенты передачи поляризации; поляризация протонов отнесена к системе координат  $(x', y', z')$ , у которой ось  $z'$  направлена по импульсу протона, а ось  $y'$  - по нормали к плоскости рассеяния;  $P_0^{Y'}$  - поляризация, возникающая в реакции с неполяризованными дейтронами,  $I_{01}(\theta)$  - сечение реакции на первой мишени для неполяризованных дейтронов,  $I_1(\theta, \varphi)$  - сечение реакции для поляризованных дейтронов, которое имеет вид /4/

$$I_1(\theta, \varphi) = I_{01}(\theta) \left[ 1 + 2\text{Im} \langle T_{11} \rangle \text{Im} T_{11}^0 + \langle T_{20} \rangle T_{20}^0 + \right. \\ \left. + 2\text{Re} \langle T_{21} \rangle \text{Re} T_{21}^0 + 2\text{Re} \langle T_{22} \rangle \text{Re} T_{22}^0 \right], \quad (3)$$

где  $T_{JM}^0$  - спин-тензоры анализирующей способности. Сечение рассеяния протонов на кольцевом анализаторе имеет вид \*)

$$I_2(\theta, \varphi) = I_{02}(\theta) \left[ I + \langle \sigma_{y'} \rangle A_2 \right], \quad (4)$$

где  $\langle \sigma_{y'} \rangle$  определяется выражением (2),  $A_2$  - анализирующая

\*) Угол  $\varphi$  относится к реакции  $(d,p)$ .

способность кольцевого анализатора для угла  $\theta$ ,  $I_{02}(\theta)$  - сечение рассеяния неполяризованных протонов на кольцевом рассеивателе. Выражая компоненты поляризации дейтронов через спин-тензоры  $t_{10}$  и  $t_{20}$ , описывающие спиновое состояние пучка из источника /4/

$$\begin{aligned} \text{Im} \langle T_{11} \rangle &= -t_{10} \sqrt{1/2} \sin \beta \cos \varphi, \\ \langle T_{20} \rangle &= t_{20} (3 \cos^2 \beta - 1) / 2, \\ \text{Re} \langle T_{21} \rangle &= t_{20} \sqrt{3/2} \sin \beta \cos \beta \sin \varphi, \\ \text{Re} \langle T_{22} \rangle &= -t_{20} \sqrt{3/8} \sin^2 \beta \cos 2\varphi, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\beta$  - угол между осью квантования  $\hat{s}$  и вектором  $\vec{k}_{in}$ ,  $\varphi$  - угол между осью  $x$  и вектором  $\hat{s} \times \vec{k}_{in}$ , можно записать выражение (4) в виде

$$\begin{aligned} I_2(\theta, \varphi) = I_{02}(\theta) \left\{ 1 + [P_0^{Y'} - \sqrt{2} t_{10} T_{11}^{Y'} \sin \beta \cos \varphi + t_{20} T_{20}^{Y'} (3 \cos^2 \beta - 1) / 2 + \right. \\ \left. + t_{20} \sqrt{6} T_{21}^{Y'} \sin \beta \cos \beta \sin \varphi - t_{20} \sqrt{3/2} T_{22}^{Y'} \sin^2 \beta \cos 2\varphi] A_2 / f(\theta, \varphi) \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Помимо величины  $P_0^{Y'}$ , которая предполагается известной, в выражение (6) входят четыре коэффициента передачи поляризации  $T_{JM}^{Y'}$ . При  $\beta = 0$  в выражении (6) сохраняется лишь один коэффициент  $T_{20}^{Y'}$ , и оно принимает вид

$$I_2(\theta) = I_{02}(\theta) \left\{ 1 + [P_0^{Y'} + t_{20} T_{20}^{Y'}] A_2 / [1 + t_{20} T_{20}^O] \right\}. \quad (6a)$$

В этом случае система обладает такой же симметрией, как и в случае измерения поляризации. Выражение (I) позволяет определить сумму  $P_0^{Y'} + t_{20} T_{20}^{Y'}$ . При  $\beta = 54,7^\circ$  в выражении (6) будут присутствовать три остальных коэффициента  $T_{JM}^{Y'}$ , и для их определения необходимы три независимых эксперимента, если известны величины  $A_2$ ,  $T_{JM}^O$  и сечения  $I_1(\theta, \varphi)$ ,  $I_{01}(\theta)$  и  $I_{02}(\theta)$ .

Эти эксперименты можно осуществить, разделив кольцевой рассеиватель на две или большее число частей, соответствующих различным интервалам угла  $\varphi$ , и поочередно исключая эти интервалы (убирая соответствующую часть рассеивателя или закрывая ее непрозрачным экраном). В частности, точки, разделяющие эти ин-

тервалы, можно выбрать при значениях  $\varphi$ , соответствующих нулям вкладов  $T_{JM}'$ . Распределение времени между соответствующими несколькими измерениями является вопросом оптимизации эксперимента. В принципе такой же метод можно использовать в случае реакций типа  $(N,N)$  при  $\beta = \pi/2$ .

В случае упругого рассеяния дейтронов выражение, аналогичное (6), уже при  $\beta = 0$  будет содержать четыре неизвестных параметра /5/; для их определения следует подбирать рассеиватели, для которых разные компоненты тензора анализирующей способности существенно различаются, что значительно усложнит эксперимент. Такова же будет структура уравнений и при использовании в качестве анализатора реакции типа  $(d,p)$ . Эти замечания относятся также к случаю измерения передачи поляризации в реакциях типа  $(p,d)$ , упомянутому ранее.

Влияние экспериментальных погрешностей на точность результатов рассмотрено в работе /2/. Понижение степени симметрии системы создает возможность дополнительных ошибок при неоднородности кольцевого рассеивателя, исключение которых потребует контрольных экспериментов.

Таким образом, кольцевой анализатор в первоначальном варианте может быть использован только для измерения параметра  $T_{20}'$  в реакциях типа  $(d,p)$ . В других случаях этот метод требует некоторой модификации, понижающей его эффективность. Можно надеяться, однако, что отмеченные возможности окажутся полезными для решения некоторых экспериментальных задач.

Автор выражает благодарность А. В. Сергееву и И. Я. Бариту за полезные обсуждения.

Поступила в редакцию  
11 июля 1974 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. H. Brinkman. Proc. Int. Symp. Pol. Phen., 1961, p. 166.
2. H. Oehler, M. Krivopustov, G. Schirmer, I. M. Sisov, F. Assfour. Nuc. Instr. Meth., 22, 293 (1970).
3. М. И. Кривоустов, И. В. Сизов, Г. Ширмер, Г. Элер. Препринт ОИЯИ Р15-3504.

4. J. L. Gammel, P. W. Keaton, Jr, G. G. Ohlsen. Polarization Phenomena in Nuclear Reactions, Proc. Third Int. Symp., Madison, 1970, p. 411.
5. G. G. Ohlsen, P. W. Keaton, Jr. Polarization Phenomena in Nuclear Reactions, Proc. Third Int. Symp., Madison, 1970, p. 418.