

Если вектор поляризации падающих нуклонов перпендикулярен к плоскости рассеяния, т. е. $\mathbf{P}_{\text{вх}} = P_{\text{вх}} \mathbf{n}$, то согласно (71,22)

$$B \mathbf{P}_{\text{вх}} = P_{\text{вх}} \mathbf{n}.$$

Теперь из (71,15) следует, что и вектор поляризации рассеянных нуклонов будет нормален к плоскости рассеяния:

$$\mathbf{P}_{\text{вых}} = \frac{P_{\text{вых}} + P_{\text{вх}}}{1 + A} \mathbf{n}, \quad \text{если } \mathbf{P}_{\text{вх}} = \mathbf{n} P_{\text{вх}}. \quad (71,24)$$

Из (71,14) и (71,19б) следует, что коэффициент, определяющий азимутальную асимметрию при рассеянии нуклонов на ядрах нулевого спина, можно записать в виде

$$A = \mathbf{P}_{\text{вх}} \mathbf{P}_{\text{вых}}^{\alpha} = \frac{2a_0 b_0}{a_0^2 + b_0^2} \cos(\alpha - \beta) (\mathbf{n} \mathbf{P}_{\text{вх}}). \quad (71,25)$$

Итак дифференциальное сечение упругого рассеяния поляризованных нуклонов на ядрах нулевого спина принимает вид (см. (71,13) и (71,18б))

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{el} = (a_0^2 + b_0^2) \left[1 + \frac{2a_0 b_0}{a_0^2 + b_0^2} \cos(\alpha - \beta) (\mathbf{n} \mathbf{P}_{\text{вх}})\right]. \quad (71,26)$$

При этом вектор поляризации рассеянных нуклонов определяется формулой

$$\mathbf{P}_{\text{вых}} = \frac{2a_0 b_0 \cos(\alpha - \beta) \mathbf{n} + (a_0^2 - b_0^2) \mathbf{P}_{\text{вх}} + 2b_0^2 \mathbf{n} (\mathbf{n} \mathbf{P}_{\text{вх}}) + 2a_0 b_0 \sin(\alpha - \beta) |\mathbf{n} \mathbf{P}_{\text{вх}}|}{a_0^2 + b_0^2 + a_0 b_0 \cos(\alpha - \beta) (\mathbf{n} \mathbf{P}_{\text{вх}})}. \quad (71,27)$$

§ 72. Двукратное и трехкратное упругое рассеяние нуклонов на неполяризованных ядрах

Предположим, что неполяризованный пучок нейтронов рассеивается на ядре, имеющем спин J_1 . Тогда согласно § 71 дифференциальное сечение рассеяния и вектор поляризации будут определяться выражением

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_1 = [2(2J_1 + 1)]^{-1} \text{Sp}(FF^{\dagger}), \quad (72,1)$$

$$\mathbf{P}_1 = \left| \frac{\text{Sp}(\boldsymbol{\sigma} F F^{\dagger})}{\text{Sp}(F F^{\dagger})} \right| \mathbf{n}_1, \quad \mathbf{n}_1 = \frac{[\mathbf{k}_0 \mathbf{k}_1]}{|\mathbf{k}_0 \mathbf{k}_1|}, \quad (72,2)$$

\mathbf{k}_0 — волновой вектор падающих нуклонов; \mathbf{k}_1 — волновой вектор рассеянных нуклонов. Вектор поляризации \mathbf{P}_1 направлен перпендикулярно волновому вектору \mathbf{k}_0 падающих нуклонов. Величину вектора поляризации \mathbf{P}_1 можно измерить, произведя анализ азимутальной асимметрии нуклонов, рассеянных на второй мишени (спин J_2).

При вторичном рассеянии вдоль волнового вектора \mathbf{k}_2 дифференциальное сечение рассеяния, отнесенное к единичному потоку первично

рассеянных нуклонов, определяется согласно (71,13) выражением

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_2 = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_2^u (1 + A_2), \quad (72,3)$$

где $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_2^u = \frac{\text{Sp}(FF^\dagger)_2}{2(2J_2 + 1)}$ — дифференциальное сечение рассеяния неполяризованных нуклонов на неполяризованных ядрах; коэффициент азимутальной асимметрии равен

$$A_2 = P_1 P_{\text{ВЫХ}}^u = P_1 P_{\text{ВЫХ}}^u(\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2); \quad (72,4)$$

$$P_{\text{ВЫХ}}^u = \left| \frac{\text{Sp}(\sigma F F^\dagger)_2}{\text{Sp}(F F^\dagger)_2} \right|, \quad \mathbf{n}_2 = \frac{[\mathbf{k}_2, \mathbf{k}_1]}{|\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2|}; \quad (72,5)$$

\mathbf{k}_2 — волновой вектор вторично рассеянных нуклонов. Азимутный угол φ_2 при вторичном рассеянии определяется соотношением $\cos \varphi_2 = \mathbf{n}_1 \mathbf{n}_2$.

Если ядра первой и второй мишеней одинаковы, то абсолютные величины векторов поляризации $P_{\text{ВЫХ}}^u$ и P_1 равны друг другу, т. е.

$$P_{\text{ВЫХ}}^u = P_1 = \left| \frac{\text{Sp}(\sigma F F^\dagger)}{\text{Sp}(F F^\dagger)} \right|. \quad (72,6)$$

В этом случае $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_2^u = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_1$ и коэффициент азимутальной асимметрии при вторичном рассеянии

$$A_2 = P_1^2(\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2) = P_1^2 \cos \varphi_2;$$

поэтому измерение азимутальной асимметрии вторично рассеянных нуклонов позволяет однозначно определить вектор поляризации однократно рассеянных неполяризованных нуклонов.

Вектор поляризации вторично рассеянных нуклонов согласно (71,8) будет определяться выражением

$$P_2 = P_1 \frac{\mathbf{n}_2 + B \mathbf{n}_1}{1 + A_2}, \quad (72,7)$$

где тензор

$$B = \frac{\text{Sp}(\sigma F \sigma F^\dagger)}{\text{Sp}(F F^\dagger)}. \quad (72,8)$$

Вектор поляризации вторично рассеянных нуклонов имеет, вообще говоря, и составляющую вдоль вектора распространения. Таким образом, при рассеянии неполяризованного пучка нуклонов на неполяризованных ядрах только во вторично рассеянных пучках появляется поляризация, имеющая составляющую вдоль вектора распространения. Другими словами, для исследования изменения продольной поляризации нуклонов при рассеянии надо производить опыты с тройным рассеянием.

Дифференциальное сечение трехкратно рассеянных нуклонов на ядрах (спина J), отнесенное к единичному потоку вторично рассеянных

нуклонов, будет выражаться формулой

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_3 = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_3^u (1 + A_3), \quad (72,9)$$

где

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_3^u = \left[\frac{\text{Sp}(FF^\dagger)}{2(2J+1)} \right]_3 = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_1. \quad (72,10)$$

Коэффициент азимутальной асимметрии при трехкратном рассеянии

$$A_3 = P_2 (P_{\text{вых}}^u)_3 = P_1 (n_3 P_2), \quad (72,11)$$

где $n_3 = \frac{[k_3 k_2]}{|[k_3 k_2]|}$, позволяет определить нормальную к вектору k_2 составляющую вектора поляризации P_2 .

Вектор поляризации трехкратно рассеянных нуклонов определяется соотношением

$$P_3 = P_1 \frac{n_3 + B P_2}{1 + A_3}. \quad (72,12)$$

В связи с тем, что коэффициент азимутальной асимметрии A_3 при третьем рассеянии зависит от скалярного произведения $n_3 P_2$, целесообразно проводить измерения для двух взаимно-перпендикулярных направлений вектора n_3 . В первом случае n_3 выбирается параллельным n_2 , т. е. плоскость третьего рассеяния выбирается совпадающей с плоскостью второго рассеяния. Тогда измерение A_3 позволяет определить нормальную к плоскости рассеяния составляющую вектора поляризации P_2 нуклонов после второго рассеяния. Во втором случае вектор n_3 направляется вдоль вектора $[n_2 k_2]$, т. е. исследуется случай, когда плоскость третьего рассеяния перпендикулярна к плоскости второго рассеяния. Тогда измерение A_3 позволяет определить составляющую вектора поляризации P_2 , лежащую в плоскости второго рассеяния и перпендикулярную к k_2 . Однако оба типа измерений не определяют составляющей вектора P_2 вдоль вектора k_2 . Частично эта третья составляющая может быть определена при исследовании четвертого рассеяния.

Дифференциальное сечение четырехкратно рассеянных нуклонов выражается формулой

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_4 = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_1 (1 + A_4),$$

где коэффициент азимутальной асимметрии

$$A_4 = P_3 (P_{\text{вых}}^u)_4 = P (n_4 P_3),$$

$$n_4 = \frac{|k_3 k_3|}{|[k_3 k_3]|}.$$

Таким образом, измерение азимутальной асимметрии при четвертом рассеянии позволяет определить составляющую P_3 , перпендикулярную

к вектору k_2 . Тогда в принципе, учитывая формулу (72,12), можно определить и составляющую вектора поляризации P_2 вдоль вектора k_2 , которую нельзя было определить на основе только трехкратного рассеяния.

Итак, в опытах по трехкратному рассеянию первоначально неполяризованных нуклонов первая мишень служит поляризатором нуклонов, а третья анализатором изменения поляризации, обусловленной рассеянием на второй мишени. Однако и поляризатор и анализатор, состоящие из одной мишени, не являются вполне совершенными. Поляризатор, состоящий из одной мишени, дает нуклоны, поляризованные перпендикулярно к вектору распространения. Чтобы получить нуклоны, поляризованные и вдоль направления распространения, необходимо использовать поляризатор, состоящий из двух мишеней, так как только вторично рассеянные нуклоны имеют такую поляризацию. Анализатор, состоящий из одной мишени, позволяет анализировать только перпендикулярную к направлению распространения составляющую вектора поляризации падающих на анализатор нуклонов. Для исследования продольной составляющей следует применять анализатор, состоящий не менее чем из двух мишеней.

Теория экспериментов с тройным рассеянием рассматривалась в работах Оэме [9] и Вольфенштейна [11]. Теория экспериментов с двойным рассеянием частиц спина 1 на ядрах развивалась в работах Лакина [8]. Поляризация частиц со спином 1 при упругом рассеянии на ядрах с нулевым спином исследовалась также в работах О. Чейшвилли [12].
