

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 34252

П-485

P3 - 11823

25/VI-78

Ю.Н.Покотиловский

5631 / 2-78

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА
ПОЛЯРИЗАЦИИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

1978

РЗ - 11823

Ю.Н.Покотиловский

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА
ПОЛЯРИЗАЦИИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

Общественный институт
ядерной физики
БИБЛИОТЕКА

Некоторые особенности анализа поляризации ультрахолодных нейтронов

Рассмотрены две особенности, возникающие при анализе поляризации ультрахолодных нейтронов методом пропускания нейтронов через намагниченные ферромагнитные пленки. Во-первых, на примере выбора различных матриц, характеризующих вероятности перехода между различными спиновыми состояниями нейтронов при пропускании и отражении их от тонкопленочных поляризатора и анализатора, продемонстрировано влияние выбора вида матриц на получаемую в эксперименте степень поляризации пучка нейтронов. Во-вторых, показано, что учет многократных отражений ультрахолодных нейтронов между поляризатором и анализатором увеличивает величину поляризации нейтронов, определяемую в эксперименте по двойному пропусканию нейтронов. Степень увеличения также зависит от выбора матриц. Показано, что в некоторых случаях возможно увеличение степени поляризации нейтронов путем использования многослойного поляризатора. Отмечено, что проводя поляризационные эксперименты с использованием однослойных и многослойных поляризаторов и анализаторов, можно определить вид матриц перехода.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Some Characteristics of Analysis of Ultracold Neutron Polarization

Two characteristic features which appear when analysing the polarization of ultracold neutrons by transmitting neutrons through magnetized ferromagnetic films are considered. First, choosing different matrixes characteristic of possibilities of transition between different neutron spin states at their transmission and reflection from the walls of a thin film polarizer and analyzer and the influence of the choice of a type of matrixes is demonstrated on a degree of neutron beam polarization obtained. Second, is shown that the consideration of multiple reflections of ultracold neutrons between a polarizer and analyzer increases the neutron polarization determined by double neutron transmission. The degree of increase also depends on the matrixe choice. It is shown that in some cases the increase in neutron polarization degree is possible by using a multipayer polarizer. It is pointed out that polarization experiments with the use of single-layer and multilyer polarizers and analyzers allow to determine a type of transition matrixes.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Исследование прохождения ультрахолодных нейтронов /УХН/ через ферромагнитные пленки /ФП/ представляет некоторый интерес в связи с существованием задачи поляризации УХН. Поляризацию производят путем пропускания УХН через намагниченные ФП^{/1/}. При этом нейтроны испытывают отражение при падении из вакуума на пленку, если энергия УХН меньше граничной энергии $E_{гр}$:

$$E_{гр} = \frac{h^2}{2\pi m} Nb_{кор}^2 + \mu B \pm E_{яд} \pm E_{магн}, \quad /1/$$

где m - масса нейтрона, $b_{кор}$ - когерентная длина рассеяния нейтрона на связанном ядре, N - число ядер в единице объема, μ - магнитный момент нейтрона, B - величина магнитной индукции.

Знаки $+$ и $-$ соответствуют антипараллельной и параллельной ориентациям магнитного момента и направления индукции.

В диапазоне энергий от $E_{яд} - E_{магн}$ до $E_{яд} + E_{магн}$ сквозь пленку должны проходить лишь нейтроны со спином, направленным против направления магнитной индукции. В эксперименте, где измерялся эффект двойного пропускания нейтронов через пленочные поляризатор и анализатор^{/1/} была получена поляризация 78% при использовании поликристаллических пленок из железа. В работе^{/2/}, где использовались монокристаллические пленки из железа, была достигнута поляризация 95-98%.

Причины недостаточно высокой поляризации при использовании поликристаллических ФП сейчас не ясны.

Могут играть роль недостаточная намагниченность или неоднородность намагниченности пленок; возможно влияние шероховатости поверхности ФП, не исключено влияние ферромагнитной окисной пленки и т.п.

С другой стороны, обычный метод анализа поляризации, использованный в^{1,2/}, применимый для тепловых и холодных нейтронов, поляризуемых путем отражения от магнитных зеркал, нельзя полностью переносить на УХН, где существенную роль могут играть многократные отражения между поляризатором и анализатором^{3/}.

В данной работе рассчитаны возможные эффекты многократных отражений при анализе поляризации УХН. Все рассмотрение имеет смысл в том случае, когда поляризуемая способность однослойной пленки, выражаемая в виде

$$P = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}, \quad /2/$$

где N_+ и N_- - соответственно интенсивности прошедших через поляризатор нейтронов со спином вверх и вниз, не равна единице, что и наблюдается в реальных случаях.

Будем описывать ФП как поляризующее устройство с помощью матриц пропускания и отражения*:

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad /3/$$

где величины b_{ik} и a_{ik} равны вероятностям перехода нейтронов из спинного состояния k в состояние i при пропускании и отражении от ФП. При этом состояние пучка нейтронов описывается в виде $\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$.

Достаточно определенный выбор величин введенных коэффициентов или хотя бы соотношений между ними в общем случае невозможен.

*В работе /4/ были введены матрицы отражения при анализе поляризации тепловых нейтронов.

Здесь рассматриваются две предельных, с физической точки зрения, возможности. В одном случае предполагается, что ФП намагниченны не до насыщения, и для описания такого случая предполагаются матрицы B и A , имеющие следующий вид:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1-a & 0 \\ 0 & a \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & 1-a \end{pmatrix}, \quad /4/$$

здесь a - относительная степень отклонения намагниченности пленки от насыщения. В другом случае мы предполагаем, что ФП намагничена до насыщения, но существует деполярирующий фактор на поверхности пленки из-за наличия неоднородностей и рассеянных микроскопических полей. Если обозначить β вероятность переворота спина нейтрона при прохождении поверхностного слоя пленки, то соответствующие матрицы имеют вид:

$$B_2 = \begin{pmatrix} (1-\beta)^2 & \beta(1-\beta) \\ \beta(1-\beta) & \beta^2 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} \beta^2 & \beta(1-\beta) \\ \beta(1-\beta) & (1-\beta)^2 \end{pmatrix} \quad /5/$$

Используя приведенные выражения и суммируя соответствующие матричные ряды, можно получить матрицы прохождения и отражения для любой системы из ФП с учетом всех возможных отражений от всех пленок.

Например, в случае параллельно намагниченных двух пленок /5/ получается следующее выражение для матрицы прохождения:

$$C_2 = \gamma c \left[1 + a^2 \frac{\gamma^2}{1 - \gamma^2 c^2} \right] B_2, \quad /6/$$

где γ - коэффициент, описывающий ослабление потока нейтронов в пространстве между пленками, $a = 2\beta(1-\beta)$, $c = 1 - a$.

В этом случае поляризация прошедших нейтронов, равная

$$P = \frac{\sum_k c_{1k} - \sum_i c_{2i}}{\sum_{ik} c_{ik}}, \quad /7/$$

не изменяется при переходе от одной ФП к многослойной системе.

В другом случае /4/ пропускание нейтронов через двуслойную систему описывается матрицей

$$C_1 = \gamma \begin{pmatrix} \frac{(1-a)^2}{1-\gamma^2 a^2} & 0 \\ 0 & \frac{a^2}{1-\gamma^2(1-a)^2} \end{pmatrix} \quad /8/$$

при этом поляризация прошедших нейтронов увеличивается от $1-2a$ для одной пленки до $\frac{1-2a}{1-a+a^2}$ для двух пленок /при $\gamma=1$ /.

Можно надеяться, что исследуя изменение поляризации нейтронов при переходе от одной пленки к многослойной системе, можно получить информацию о величинах b_{ik} , a_{ik} , а с другой стороны - увеличить поляризующую способность поляризатора, используя многослойную систему.

Представляет интерес рассмотреть эффект переотражений нейтронов между поляризатором и анализатором в эксперименте по измерению поляризации УХН /1,2/. Для описания флиппера, находящегося между поляризатором и анализатором, необходимо ввести матрицу поворота спина $J = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$. Вычисления дают, при учете отражений, следующие матрицы прохождения через систему "поляризатор, флиппер, анализатор":

$$D_1 = \frac{a(1-a)}{1-a(1-a)} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad /9/$$

$$D_2 = a \frac{1+(1-2\beta)^2}{1-a^2} B_2, \quad /10/$$

соответственно для случаев /4/ и /5/.

Без учета отражений соответствующие матрицы равны:

$$\tilde{D}_1 = \begin{pmatrix} (1-a)^2 & 0 \\ 0 & a^2 \end{pmatrix}, \quad /11/$$

$$\tilde{D}_2 = B_2 J B_2 = a B_2. \quad /12/$$

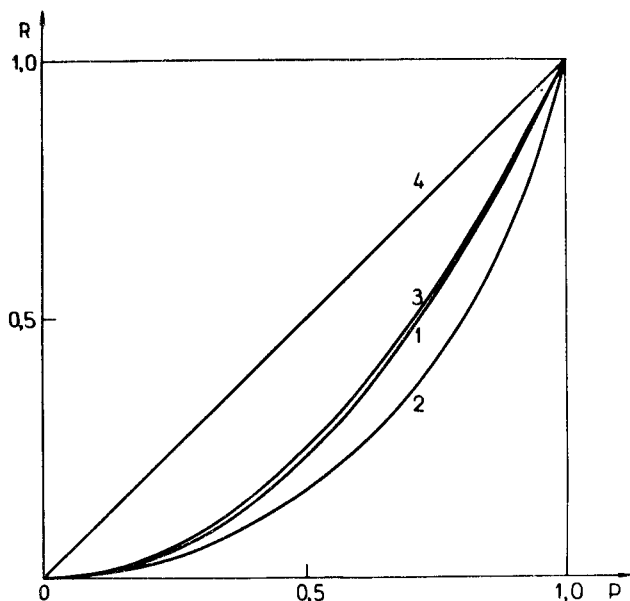
На рисунке представлена величина измеряемого в эксперименте отношения

$$R = \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}, \quad /13/$$

где N_1 и N_2 - соответственно скорости счета детектора, располагаемого за анализатором, при выключенном и включенном флиппере как функция поляризации пучка УХН после прохождения поляризатора /7/. Кривые 1 и 2 соответствуют выбору матриц /4/ и /5/ с учетом отражений между поляризатором и анализатором, кривая 3 соответствует обоим случаям без учета отражений. Кривая 4 отвечает матрицам, подобным использованным для вычисления поляризации в работе /2/:

$$B = \begin{pmatrix} 1-\rho & 0 \\ \rho & 0 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Из приведенного рассмотрения видно, что корректность вычисления поляризации по экспериментальным данным существенно зависит от физического механизма, ответственного за неполную поляризацию пучка УХН, проходящих через намагниченную ферромагнитную пленку, и от учета процессов переотражения нейтронов между поляризатором и анализатором.



Зависимость величины эффекта двойного пропускания от степени поляризации УЧН после прохождения через поляризатор.

Автор весьма признателен А.П.Сереброву за полезное и стимулирующее обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобашев В.М., Порсев Г.Д., Серебров А.П. ЯФ, 1974, 19 /2/, с. 300.
2. Herdin R., Steyerl A., Taylor A.R., Pendelbury J.M., Golub R. Nucl. Instr. and Meth., 1978, 148, p.353.
3. Таран Ю.В. ОИЯИ, РЗ-9307, Дубна, 1975.
4. Ерозолимский Б.Г., Мостовой Ю.А., Обиняков Б.А. ПТЭ, 1964, №2, с. 39.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 августа 1978 года.