

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ42ГЗ

Н-749

19/III-79

P3 - 11986

М.И.Новопольцев, Ю.Н.Покотилловский

924/2-79

ПРЕРЫВАНИЕ ПОТОКА

УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

ПЕРЕМАГНИЧИВАЕМЫМИ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ

ПЛЕНКАМИ

1978

РЗ - 11986

М.И.Новопольцев.* Ю.Н.Покотилловский

ПРЕРЫВАНИЕ ПОТОКА
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
ПЕРЕМАГНИЧИВАЕМЫМИ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ
ПЛЕНКАМИ



* Мордовский государственный университет, г.Саранск.

Прерывание потока ультрахолодных нейтронов
перемагничиваемыми ферромагнитными пленками

Изложены первые результаты эксперимента по прерыванию потока ультрахолодных нейтронов устройством, содержащим токовую фольгу и две ферромагнитные пленки. Измерения проводились в стационарном режиме. Использовались пермаллоевые пленки (50% железа + 50% никеля) толщиной 3 мкм. Эффект запираания нейтронов возникал при прохождении через фольгу тока, намагничивающего пленки в противоположных направлениях. "Открытое" состояние для нейтронного потока создавалось намагничиванием пленок в одном направлении с помощью внешнего магнитного поля. В области вблизи оси фольги, где не происходит адиабатического поворота спина нейтрона, получено пятикратное ослабление потока нейтронов в "запертом" состоянии по отношению к их потоку в "открытом" состоянии. Измерены кривые запираания ультрахолодных нейтронов по всей площади токовой фольги и проведено сравнение с расчетом. Недостаточно высокая степень запираания объясняется неполной поляризацией нейтронов при прохождении через каждую из ферромагнитных пленок. Указаны возможные пути повышения эффективности затвора.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

The Shuttering of Ultracold Neutron Flux by Magnetized
Ferromagnetic Films

The first results of the experiment on the shuttering of ultracold neutron flux by means of the device, containing the current foil and two ferromagnetic films are reported. The measurements were produced in the stationary regime. The permalloy 3 μm thick films (50% iron - 50% nickel) were used. The shuttering effect for neutron flux appeared at the transition through the foil of the current, magnetizing the films in the opposite directions. The "open" state for neutron flux was produced by the magnetization of the films in the same direction by means of the outer magnetic field. At the foil axis, where the adiabatic reverse of the neutron spin is absent, the fivefold weakening of neutron flux is obtained in the "closed" state in relation to the flux in the "open" state. The curves of shuttering of ultracold neutrons on the whole area of current foil were measured and compared with the calculations. Insufficiently high coefficient of shuttering is explained by incomplete polarization of neutrons at the transmission through each of the ferromagnetic films. The possible ways for improvement of efficiency of the shutter are indicated.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В работе^{/1/} было предложено несколько типов ферромагнитных затворов для ультрахолодных нейтронов /УХН/. Действие их основано на отражении нейтронов от потенциального барьера, создаваемого суммарным взаимодействием нейтрона с ядрами среды ($U_{яд}$) и магнитного момента нейтрона с магнитной индукцией в среде ($U_{магн}$):

$$U = \frac{h^2}{2\pi m} N b_{\text{ког}} \pm \mu B = U_{\text{яд}} \pm U_{\text{магн}}, \quad /1/$$

где $b_{\text{ког}}$ - когерентная длина рассеяния нейтрона на ядрах среды, N - число ядер в единице объема, m - масса нейтрона, μ - магнитный момент нейтрона, B - величина магнитной индукции в среде.

Из этого выражения видно, что в интервале энергий $[U_{\text{яд}} - U_{\text{магн}}, U_{\text{яд}} + U_{\text{магн}}]$ происходит отражение от поверхности намагниченного ферромагнетика нейтронов с параллельной ориентацией спина относительно направления магнитной индукции.

Нами испытывалось одно из предложенных в^{/1/} устройств, позволяющее в принципе произвести запираание потока УХН независимо от поляризации.

Схема использованного устройства показана на рис. 1. УХН поступали по нейтроноводу, сечение которого перекрывалось трехслойной системой, состоящей из двух ферромагнитных пленок /ФП/, располагаемых на поверхности токовой фольги. Фольга при протекании по ней тока создавала по обе стороны магнитные поля противоположного направления, так что ФП намагничивались антипараллельно.

Если поляризующая способность ФП в поле токовой фольги равна 100% и в объеме токовой фольги не проис-

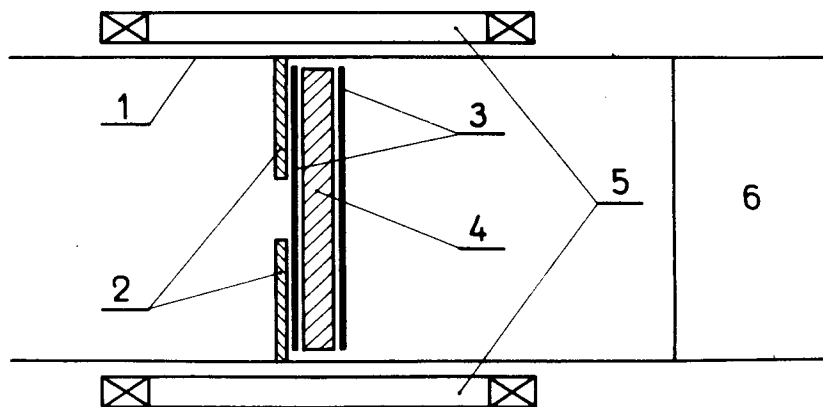


Рис. 1. Схема устройства для исследования прерывания потока УХН с использованием перемангничиваемых ферромагнитных пленок; 1 - нейтронород; 2 - коллиматор; 3 - ферромагнитные пленки; 4 - токовая фольга; 5 - катушки для перемангничивания пленок; 6 - детектор УХН - пропорциональный счетчик с ^3He .

ходит поворота спина нейтрона в пространстве, то такое устройство должно полностью запирает поток УХН при протекании тока через фольгу и пропускать поляризованные нейтроны, когда ФП с помощью внешних катушек намагничены в одном направлении. Однако в реальности при пропускании УХН через ФП не достигается 100%-ной поляризации. Кроме того, из-за присутствия внутри токовой фольги компоненты поля, перпендикулярной поверхности, происходит с некоторой вероятностью переворот спина нейтрона при прохождении его сквозь фольгу. Вероятность поворота спина, как и величина компоненты магнитного поля, перпендикулярной поверхности фольги, зависит от расстояния от средней линии токовой фольги.

На рис. 2 представлена экспериментально измеренная зависимость запирающей способности устройства как функции расстояния от оси токовой фольги. Запирающая способность определялась как отношение скоростей счета детектора в закрытом /через токовую фольгу протекает ток/ и открытом /ток через фольгу не пропускается, но имеется магнитное поле катушек, намагничивающее пленки в одном направлении/ состояниях.

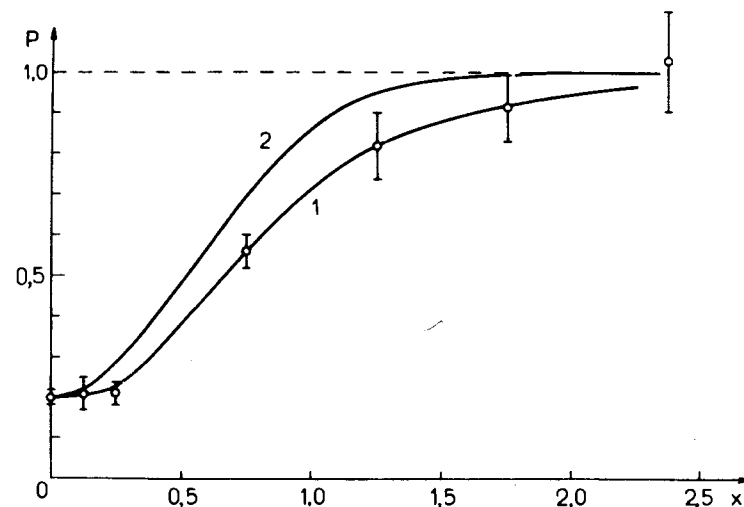


Рис. 2. Зависимость запирающей способности устройства от расстояния от оси токовой фольги /см/; 1 - эксперимент, 2 - расчет.

ФП, изготовленные путем прокатки, имели состав 50% Fe + 50% Ni и толщину 3 мк. Поле токовой фольги толщиной 0,75 мм, параллельное ее плоскости, составляло 25 Э. Намагничивание пленок в одном направлении производилось полем 50 Э. На рис. 2 представлена лишь часть кривой, соответствующая одной половине токовой фольги; в действительности измерения проводились по всей ширине токовой фольги: кривая, как и ожидалось, была симметричной относительно осевой линии фольги. Как видно из измерений, даже на оси фольги, где отсутствует адиабатический поворот спина нейтрона в пространстве, запираение потока нейтронов не является полным. Это объясняется недостаточно полной поляризацией нейтронов при прохождении их через каждую из ФП. Причины заметного отличия от 100%-ной поляризации УХН при пропускании их через намагниченные поликристаллические ФП уже были предметом обсуждения ^[2,3,4], однако они специально не изучались. Здесь мы предполагаем, что могут иметь место две крайних возможности: во-первых,

при заметном отличии намагниченности от насыщения имеется вероятность прохождения сквозь пленку нейтронов с запрещенной поляризацией; во-вторых, может происходить поворот спина нейтрона вблизи или внутри поверхностного слоя ФП из-за неоднородностей намагниченности и шероховатости поверхности. В соответствии с этими двумя возможностями производится выбор матриц прохождения и отражения, описывающих вероятности реализации различных спиновых состояний нейтронов при прохождении и отражении ^{/5/}:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1-a & 0 \\ 0 & a \end{pmatrix}, \quad A_1 = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & 1-a \end{pmatrix} \quad /2/$$

- матрицы пропускания и отражения, соответствующие первому предположению, и

$$B_2 = \begin{pmatrix} (1-\beta)^2 & \beta(1-\beta) \\ \beta(1-\beta) & \beta^2 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} \beta^2 & \beta(1-\beta) \\ \beta(1-\beta) & (1-\beta)^2 \end{pmatrix} \quad /3/$$

- то же самое для второго предположения. Здесь a - степень отличия намагниченности ФП от насыщения, β - вероятность переверота спина нейтрона при прохождении поверхностного слоя. На рис. 2, кроме экспериментальной кривой, показана теоретически рассчитанная кривая запирающей способности как функция расстояния от оси токовой фольги. Кривая рассчитывалась следующим образом: вначале для точки, расположенной на оси, где не происходит поворота спина нейтрона, на основе измеренной запирающей способности определялись параметры a и β матриц пропускания и отражения. При этом учитывались все эффекты отражения от барьеров и захвата в ФП и токовой фольге. Энергетический диапазон используемых нейтронов заключался между 134 мэВ / $U_{\text{яд}} - U_{\text{магн}}$ для ФП/ и 214 мэВ / верхняя граничная энергия нейтронвода/. Затем с использованием определенных параметров a и β /равных соответственно 0,087 и 0,083/* вычис-

лялась запирающая способность по всей ширине токовой фольги. При этом дополнительно вводилась матрица поворота спина в токовой фольге

$$T = \begin{pmatrix} 1-\delta & \delta \\ \delta & 1-\delta \end{pmatrix}, \quad /4/$$

где δ - вероятность поворота спина - вычислялась по формуле из работы ^{/6/}:

$$\delta = 1 - \exp \left[- \frac{\pi \mu H_{\perp}^2}{n \frac{\partial H_{\parallel}}{\partial t}} \right], \quad /5/$$

где H_{\parallel} и H_{\perp} - соответственно параллельная и перпендикулярная поверхности фольги компоненты магнитного поля, μ - магнитный момент нейтрона, t - время в системе нейтрона. Вариации формы спектра в указанном интервале энергий и формы углового распределения нейтронов, падающих на затвор, практически не изменяли расчетной кривой. Это связано с тем, что доступный интервал энергий УХН был довольно узок. Рассчитанные кривые запирающей способности для двух типов матриц практически не различались. Наблюдается некоторое отличие экспериментальной кривой от расчетной. Варьирование эффективного поглощения нейтронов в токовой фольге за счет, например, неоднородностей, приводящих к увеличению полного сечения взаимодействия нейтронов ^{/7/}, не улучшало согласия расчета с экспериментом. Возможно, что присутствие ФП на поверхности токовой фольги заметно изменяло в лучшую сторону соотношение компонент магнитного поля. Кроме того, возможно, что для описания прохождения нейтронов сквозь ФП необходимо использовать матрицы иного вида. Матрицы более общего вида нами не испытывались.

Запирающее действие затвора можно улучшить, используя монокристаллические пленки, для которых в работе ^{/4/} была получена поляризация 95-98%. Площадь рабочей области затвора, зависящую от вероятности поворота спина в токовой фольге, можно увеличить во много раз, исполь-

* Соответственно поляризующая способность пленок для этих случаев, выражаемая в виде $P = 1-2a$ и $P = 1-2\beta$, равна 0,83 и 0,84.

зую более тонкую токовую фольгу. Кроме того, компоненту магнитного поля, перпендикулярную поверхности, можно уменьшить с помощью внешних проводников с током.

Изучение и улучшение свойств такого затвора необходимо с точки зрения задачи создания импульсного накопителя УХН и быстрого прерывателя для спектрометрии, а также возможной постановки нестационарных экспериментов с УХН.

В заключение выражаем глубокую признательность В.И.Морозову, Ю.Ю.Косвинцеву и Ю.А.Кушниру за предоставленную возможность проведения измерений на канале УХН НИИАР^{/8/} /г.Димитровград/. Мы благодарим также Ю.В.Тарана за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покотиловский Ю.Н., Таран Ю.В., Шапиро Ф.Л. ПТЭ, 1976, №3, с.32.
2. Лобашев В.М., Порсев Г.Д., Серебров А.П. ЯФ, 1974, 19 /2/, с.300.
3. Таран Ю.В. ОИЯИ, РЗ-9307, Дубна, 1975.
4. Herdin R. e.a. Nucl. Instr. and Meth., 1978, 148, p.353.
5. Покотиловский Ю.Н. ОИЯИ, РЗ-11823, Дубна, 1978.
6. Владимирский В.В. ЖЭТФ, 1960, 39, с.1062.
7. Steyerl A., Vonach H. Z.Phys., 1972, 250, p.166.
8. Kosvintsev Yu.Yu. e.a. Nucl. Instr. and Meth., 1977, 143, p.133.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 октября 1978 года.