

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



П-485

1/11-7  
РЗ - 9185

Ю.Н.Покотилловский, Ю.В.Таран, Ф.Л.Шапиро

4640/2-75

ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ЗАТВОРЫ  
ДЛЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

**1975**

РЗ - 9185

Ю.Н.Покотиловский, Ю.В.Таран, Ф.Л.Шапиро

**ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ЗАТВОРЫ  
ДЛЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ**

*Направлено в ПТЭ*

**Объединенный институт  
ядерных исследований  
БАНТНОСТЕРА**

Быстрые управляемые затворы могли бы найти ряд полезных применений в исследованиях с ультрахолодными нейтронами /УХН/. Например, при использовании импульсного реактора в качестве источника нейтронов применение быстрого затвора, отсекающего конвертор УХН от нейтроновода в течение времени между импульсами реактора, позволило бы существенно поднять плотность УХН в нейтроноводе /1,2/. Кроме того, импульсный затвор в качестве быстрого прерывателя позволил бы проводить спектрометрию по времени пролета и, возможно, другие эксперименты.

Помимо очевидных механических конструкций, малая энергия УХН в принципе позволяет использовать для запираания нейтронов энергию взаимодействия магнитного момента нейтрона с магнитным полем. В настоящей работе предлагается 3 типа затворов для УХН с использованием ферромагнитных пленок.

1. Идея использования магнитного поля в вакууме для запираания УХН была высказана В.В.Владимирским<sup>/3/</sup>. Аналогичную роль может играть магнитная индукция в ферромагнитной среде. Если нейтрон проходит границу раздела вакуум-магнитный кристалл, то на поверхности кристалла эффективный потенциал для нейтрона меняется на величину

$$\langle U \rangle = \frac{\hbar^2}{2\pi m} N b_{\text{ког}} \pm \mu_n B, \quad /1/$$

где  $N$  - число ядер в единице объема кристалла,  $b_{\text{ког}}$  - амплитуда когерентного рассеяния нейтрона на ядрах

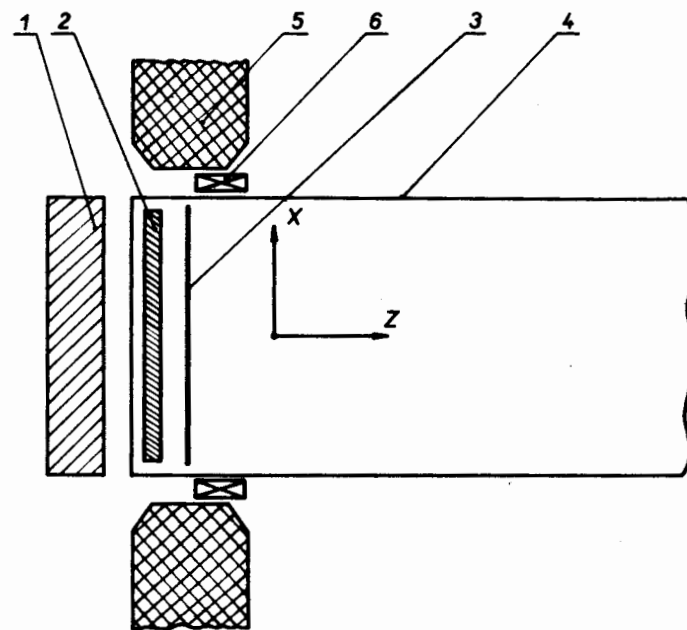
кристалла,  $\mu_n$  - магнитный момент нейтрона,  $B$  - величина магнитной индукции в кристалле,  $m$  - масса нейтрона. Знак плюс в уравнении /1/ соответствует параллельной ориентации спина нейтрона и магнитной индукции, знак минус - антипараллельной. Если подобрать ферромагнетик, в котором имеет место равенство

$$\frac{h^2}{2\pi m} N b_{\text{ког}} \approx \mu B, \quad /2/$$

то в намагниченном состоянии он будет полностью отражать одно спиновое состояние УХН и пропускать внутрь себя другое. Таким свойством обладают, например, сплав 8% железа и 92% кобальта; железо с определенной концентрацией своих изотопов и др. Если отражающую стенку сделать в виде тонкой пленки толщиной порядка нескольких микрон, чтобы уменьшить поглощение УХН при их прохождении через пленку, то ее можно использовать для создания импульсного магнитного затвора УХН. Для намагничивания и перемагничивания такой пленки требуется сравнительно умеренное магнитное поле - несколько сотен или, в лучшем случае, десятков эрстед. Такую ферромагнитную пленку можно перемагничивать с достаточно большой частотой.

На рисунке показано устройство для накопления УХН в нейтроноводе с использованием ферромагнитной пленки. Устройство состоит из тонкой ферромагнитной пленки 3 и намагничивающего устройства, например, электромагнита 5. Пленка располагается на поверхности или в непосредственной близости конвертора 2, в котором УХН генерируются тепловыми нейтронами, вылетающими из замедлителя 1 импульсного реактора. В течение импульса реактора пленка намагничивается в определенном направлении, в интервалы времени между импульсами реактора пленка намагничивается в противоположном направлении, так что УХН со спином, параллельным направлению намагниченности пленки, в интервале между импульсами реактора оказываются запертыми в нейтроноводе 4.

2. Введением дополнительного соленоида в зазор магнита 5, предназначенного для намагничивания фер-



Схематическое изображение накопителя УХН с использованием ферромагнитной пленки: 1 - замедлитель импульсного источника нейтронов, 2 - конвертор УХН, 3 - ферромагнитная пленка, 4 - нейтроновод или замкнутый сосуд, 5 - магнит, 6 - соленоид.

ромагнитной пленки, можно в некотором отношении упростить устройство, описанное выше, и расширить диапазон его применений. Этот дополнительный соленоид предназначен для создания переменного магнитного поля, направленного перпендикулярно постоянному магнитному полю, причем постоянное поле должно иметь градиент поперек основной его составляющей.

Назначение дополнительного соленоида - осуществлять быстрый адиабатический поворот спина\* нейт-

\*Этот метод широко используется в технике ядерного магнитного резонанса /см., например, /4/. По предложению В.И.Лущикова он для УХН был применен в работе /5/. Численные расчеты по определению силы неравенства /4/ проделаны в /6/.

рона, что происходит при выполнении двух условий:  
а/ наличие резонанса в некоторой определенной точке стационарного магнитного поля

$$\omega = \gamma H'_0, \quad /3/$$

где  $\omega$  - угловая частота переменного тока в дополнительном соленоиде,  $H'_0$  - величина стационарного магнитного поля в этой точке,  $\gamma$  - гиромагнитное отношение нейтрона;

б/ адиабатическое прохождение:

$$v_{\max} \cdot \text{grad} H_0 \ll \gamma H_1^2, \quad /4/$$

где  $v_{\max}$  - максимальное значение скорости в спектре УХН,  $\text{grad} H_0$  - градиент стационарного поля в направлении пучка,  $H_1$  - величина переменного магнитного поля, создаваемого соленоидом.

При наличии дополнительного соленоида отпадает необходимость в перемагничивании ферромагнитной пленки, для закрытия затвора достаточно выключить переменный ток в соленоиде и ферромагнитная пленка не будет выпускать УХН обратно, тем самым они окажутся запертыми в нейтроноводе. Соленоид для создания переменного поля является слаботочным и обладает малой индуктивностью, что облегчает получение хороших временных характеристик импульсного затвора. Кроме того, для намагничивания пленки в этом случае можно использовать постоянный магнит.

3. В обоих описанных устройствах можно осуществлять запираение и накопление УХН какой-либо одной выбранной поляризации; при прерывании потока неполяризованных нейтронов глубина модуляции прерываемого потока равна двум, что не является удобным. В случае накопления УХН при использовании описанных затворов в комбинации с импульсным источником нейтронов необходимо предпринимать специальные меры для предотвращения деполяризации нейтронов в объеме накопителя. Например, если время хранения УХН в накопителе составляет 100 с, то для сохранения поляризации не менее

90% от ее первоначального значения требуется создать магнитное поле с относительной однородностью по объему накопителя не хуже 0,8%. Создание таких однородных полей в значительных объемах представляет хотя и разрешимую, но достаточно серьезную техническую задачу. Для того, чтобы избежать мешающего влияния магнитного поля Земли, искаженного различного рода металлическими конструкциями и оборудованием, необходимо или экранировать накопитель от этих полей, или создавать достаточно сильное рабочее поле в накопителе /до нескольких сотен эрстед/, что требует, в свою очередь, достаточно мощных магнитных систем и источников тока.

Для запираения нейтронов с любым направлением спина может служить система из двух ферромагнитных пленок, расположенных достаточно близко одна от другой. Если пленки намагничены в противоположных направлениях, то при условии, что между пленками не происходит поворота спина нейтрона в пространстве/т.е. имеет место неадиабатическое прохождение/, такое устройство будет отражать УХН независимо от направления поляризации. Если пленки намагничены в одном направлении, то такая двухслойная система эквивалентна однослойной.

Осуществить противоположную намагниченность двух близко расположенных ферромагнитных пленок можно с помощью фольги с током, по обе стороны которой нанесены ферромагнитные пленки. Очевидно, что граничная скорость материала фольги должна быть достаточно малой, чтобы осуществлять запираение в достаточно широком энергетическом интервале УХН. Например, подходящим материалом является алюминий /граничная энергия  $\approx 0,55 \cdot 10^{-7}$  эВ/, обладающий при этом достаточно хорошей электропроводностью и малым сечением захвата и нагрева УХН. Возможно применение и сверхпроводящей токовой фольги.

Для численных оценок параметров такого затвора используем известную формулу для вероятности неадиабатического прохождения через токовую фольгу /см., например, /7/ /:

$$w = 1 - \exp \left[ - \frac{\pi r \cdot H_z^2 d}{4v_z H_x} \right], \quad /5/$$

где  $d$  - толщина фольги,  $v_z$  - компонента скорости УХН, нормальная к фольге;  $H_x$  - величина компоненты магнитного поля вдоль фольги на ее поверхности, перпендикулярная направлению тока в фольге,  $H_z$  - величина нормальной к фольге компоненты магнитного поля.

Используя следующие численные значения:  $v_z = 5$  м/с,  $w = 5 \cdot 10^{-2}$ ,  $H_x = 100$  Э/такой напряженности достаточно для насыщения ферромагнитной пленки из магнитомягкого материала, например, чистого железа/, получим условие на величину компоненты  $H_z$ :

$$H_z \leq \frac{0,42}{\sqrt{d}}, \quad /6/$$

где  $H_z$  - в эрстедах,  $d$  - в сантиметрах.

Обычно для УХН толщина пленок не должна превосходить  $10^{-3}$  см, чтобы поглощение нейтронов не было велико; тогда для данного случая получим  $H_z < 13$  Э, что выполняется при ширине рабочей /осуществляющей запырание УХН/ площади фольги, составляющей  $\approx 30\%$  от полной ширины токовой фольги.

Работа такого устройства, например, в сочетании с импульсным источником нейтронов, происходит следующим образом. В интервале между импульсами нейтронного источника через фольгу пропускается ток, так что ферромагнитные пленки намагничиваются в противоположных направлениях. На время импульса нейтронного источника ток через фольгу выключается и включается электромагнит, намагничивающий обе ферромагнитные пленки в одном направлении. Хотя при этом из конвертора в нейтронный канал поступают поляризованные нейтроны, нет необходимости заботиться о сохранении их поляризации.

Описанные здесь предложения были высказаны в течение 1968-1973 годов. В их обсуждении приняли участие В.И.Лушиков, А.В.Стрелков, В.В.Голиков, В.К.Игнатович, Э.Дерменджиев. Данная работа написана после кончины Ф.Л.Шапиро.

#### Литература

1. Ф.Л.Шапиро. ЭЧАЯ 2, вып. 4, 975 /1972/; Препринт ОИЯИ, РЗ-7135, Дубна, 1972.
2. А.В.Антонов и др. Труды ФИАН, 57, 270 /1972/.
3. В.В.Владимирский. ЖЭТФ, 99, 1062 /1960/.
4. А.Абрагам. Ядерный магнетизм, ИЛ, М., 1965.
5. В.М.Лобашев, Г.Д.Порсев, А.П.Серебров. Препринт №37 ЛИЯФ АН СССР, Л., 1973.
6. Ю.В.Таран. Сообщение ОИЯИ, РЗ-8577, Дубна, 1975.
7. Ю.Г.Абов, П.А.Крупчицкий, А.Д.Гулько. Поляризованные медленные нейтроны. Атомиздат, М., 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 сентября 1975 года.