

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



*5/11-78*

P13 - 11320

          
H-623

Ю.В.Никятенко, Ю.В.Таран

*2411/2-78*

ТЕРМОМАГНИТНЫЕ ЗАТВОРЫ  
ДЛЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

**1978**

P13 - 11320

Ю.В.Никитенко, Ю.В.Таран

ТЕРМОМАГНИТНЫЕ ЗАТВОРЫ  
ДЛЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

*Направлено в ПТЭ*



Никитенко Ю.В., Таран Ю.В.

P13 - 11320

Термомагнитные затворы для ультрахолодных нейтронов

Предложены два типа затвора для ультрахолодных нейтронов (УХН) основанные на использовании явления фазового перехода в ферромагнитной пленке при повышении ее температуры выше точки Кюри. В сочетании с импульсным источником нейтронов термомагнитные затворы позволяют осуществить накопление УХН в замкнутых сосудах.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Nikitenko Yu.V., Taran Yu.V.

P13 - 11320

Thermomagnetic Gates for Ultracold Neutrons

Two types of gates for ultracold neutrons (UCN) have been suggested that are based on the use of the phenomenon of phase transition in ferromagnetic film when its temperature increases above Curie point.

Thermomagnetic gates coupled with the pulsed neutron source allow UCN to be stored in closed vessels.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В<sup>/1/</sup> были рассмотрены магнитные затворы для ультрахолодных нейтронов /УХН/ с использованием ферромагнитных пленок. Эти затворы обладают достаточным быстродействием, чтобы производить накачку УХН в замкнутый сосуд от импульсного источника нейтронов с высокой частотой следования импульсов. В ряде случаев, когда нет необходимости в большом быстродействии затвора, могут оказаться полезными так называемые термомагнитные затворы УХН.

На ультрахолодный нейтрон, находящийся в ферромагнитной среде, действует эффективный потенциал<sup>/2/</sup>

$$U = \frac{2\pi\hbar^2 Nb}{m} - \mu B,$$

где  $N$  - число ядер в единице объема,  $b$  - когерентная длина рассеяния нейтрона на связанном ядре,  $m$  - масса нейтрона,  $\mu$  - магнитный момент нейтрона,  $B$  - магнитная индукция в среде.

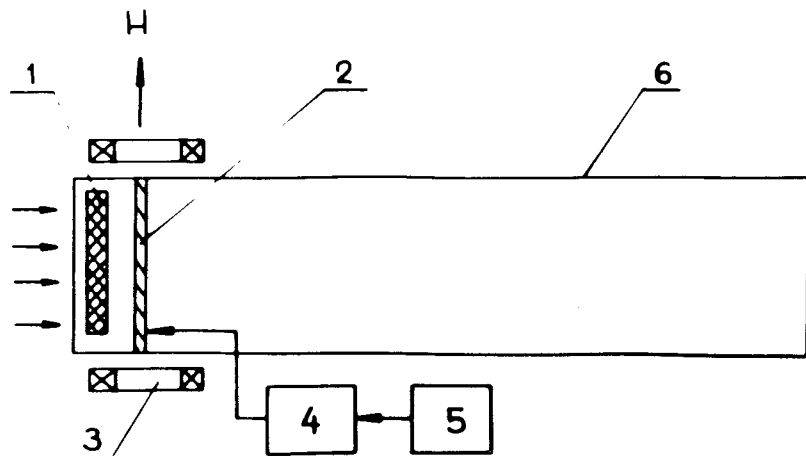
Если изготовить ферромагнитную пленку из материала,

для которого выполняется условие  $\frac{2\pi\hbar^2 Nb}{m} \ll \mu B$ ,

то эффективный потенциал взаимодействия нейтрона со средой пленки будет в основном определяться ее магнитным состоянием. Магнитное состояние ферромагнитной среды зависит от ее температуры, и при температуре выше точки Кюри среда становится парамагнитной. В этом случае эффективный потенциал окажется пренебрежимо малым и пленка будет практически прозрачна для УХН. Ниже точки Кюри пленка находится в ферромагнитном состоянии, и если она намагничена до насы-

щения, то через нее проходят УХН только с проекцией спина против направления ее намагниченности. На основе данного принципа может работать затвор УХН, условно названный нами термомагнитным.

На рис. 1 схематически показано устройство для накопления УХН в замкнутом сосуде с использованием рассмотренного термомагнитного затвора на импульсном источнике нейтронов. УХН из конвертора 1 падают на ферромагнитную пленку 2, которая намагничивается устройством 3. Ферромагнитная пленка снабжена устройством 4 для ее подогрева. Перед импульсом нейтронов устройство 4 включается и пленка переводится в парамагнитное состояние. Затвор открыт: УХН входят через него в замкнутый сосуд 6 и там накапливаются. После окончания импульса нейтронов устройство 4 выключается и пленка переходит в ферромагнитное состояние. УХН с проекцией спина против направления намагниченности



Накопитель ультрахолодных нейтронов на импульсном источнике нейтронов с использованием термомагнитного затвора: 1 - конвертор УХН, 2 - ферромагнитная пленка, 3 - устройство для намагничивания пленки, 4 - устройство для подогрева пленки, 5 - устройство для синхронизации работы подогревателя с импульсным источником нейтронов, 6 - замкнутый сосуд.

пленки вытекут из сосуда обратно на конвертор, а УХН с противоположной поляризацией окажутся запертыми в сосуде. Работа устройства 4 синхронизована с работой импульсного источника нейтронов с помощью устройства 5. Для сохранения поляризованных УХН в накопителе, оборудованном затвором описанного типа, надо принимать специальные меры против деполяризации УХН в процессе их хранения. С другой стороны, применяя принцип затвора с двумя ферромагнитными пленками и токовой фольгой<sup>1/</sup>, можно осуществить накопление неполяризованных УХН.

Для подогрева ферромагнитной пленки могут быть использованы электрические подогреватели различной конструкции, в том числе основанные на принципе пропускания тока по самой пленке. Любопытная возможность для подогрева пленки от импульсного источника нейтронов может быть осуществлена с помощью реакции деления в веществе, нанесенном на пленку или внедренном в нее. В этом случае достигается идеальная синхронизация работы затвора с импульсным источником.

Оценим параметры затвора, выбрав для примера в качестве делящегося вещества уран-235 и в качестве материала ферромагнитной пленки - изотопы железа. Считая допустимым при напуске УХН 20%-ное поглощение УХН в  $^{235}\text{U}$ , определим долю потока тепловых нейтронов, поглощенных в затворе:

$$p_{\text{тепл}} = p_{\text{УХН}} \left( \frac{v_{\text{тепл}}}{v_{\text{УХН}}} \right) \approx 4,6 \cdot 10^{-4},$$

где  $v_{\text{тепл}}$  - скорость тепловых нейтронов,  $v_{\text{УХН}}$  - скорость УХН,  $p_{\text{УХН}}$  - доля потока УХН, поглощенных в затворе. Отсюда толщина слоя  $^{235}\text{U}$  равна:

$$x = \frac{p_{\text{тепл}}}{\sigma N} \approx 0,16 \text{ мкм},$$

где  $\sigma$  - сечение деления  $^{235}\text{U}$ ,

$N$  - число ядер  $^{235}\text{U}$  в единице объема. Учитывая, что потери энергии осколками деления максимальны в начале пути их пробега в веществе, положим толщину ферромагнитной пленки порядка нескольких десятых долей мкм, намного меньшей предельной длины пути пробега  $l_{\text{пр}} / l_{\text{пр}} \approx 10 \text{ мкм}/$ . В качестве источника нейтронов выберем реактор ИБР-2<sup>3/</sup>, в сквозном тан-

генциальном канале которого число нейтронов в импульсе составляет  $N_{\text{имп}} \approx 10^{13} \text{ н/см}^2$ . Тогда подогрев затвора за импульс реактора может быть получен на величину  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{A \cdot N_{\text{имп}} \cdot \rho_{\text{тепл}} \cdot E_{\text{оск}} \cdot \kappa \left( \frac{\ell}{\ell_{\text{пр}}} \right)}{\ell \cdot \rho \cdot c} = 120^\circ\text{C},$$

где  $A$  - атомный номер,  $E_{\text{оск}}$  - кинетическая энергия осколков деления,  $\ell$  - толщина пленки,  $c$  - теплоем-

кость вещества пленки,  $\kappa \left( \frac{\ell}{\ell_{\text{пр}}} \right)$  - фактор, учитываю-

щий нелинейную зависимость потери энергии осколком на пути пробега,  $\rho$  - плотность вещества.

Учитывая зависимость относительной самопроизвольной удельной намагниченности ферромагнетика от температуры, получим, что температура точки Кюри ферромагнитного материала затвора должна быть не очень высокой. Использование накопителя УХН с термомагнитным затвором описанной конструкции на реакторах с большей импульсной мощностью, например на импульсных реакторах самогасящего действия, позволит применить в затворе пленку с более высокой температурой точки Кюри.

Термомагнитный затвор другого типа может быть осуществлен, если изготовить ферромагнитную пленку из материала, для которого выполняется условие

$$\frac{2\pi \hbar^2 N b}{m} = \mu B$$

Известно, что ненамагниченная ферромагнитная пленка пропускает половину падающих на нее УХН. Обычно это объясняется тем, что в ненамагниченном состоянии среда разбивается на домены и т.к. длина волны УХН значительно меньше средних размеров домена, то половина падающих УХН отразится пленкой обратно. Для достаточно тонкой пленки /с толщиной порядка средних размеров домена/ ослабление прошедших УХН будет невелико. Если теперь пленку нагреть выше температу-

ры точки Кюри, то пленка перейдет в парамагнитное состояние и магнитный потенциал  $\mu B$  станет пренебрежимо малым. Пленка станет непрозрачной для УХН, энергия которых меньше ядерного потенциала. Таким образом, открытое состояние затвора с использованием такой пленки будет иметь место при температуре пленки ниже точки Кюри, а закрытое - при температуре выше точки Кюри. В накопителе УХН, снабженном затвором описанного типа, не нужно намагничивать ферромагнитную пленку и заботиться о сохранении поляризации УХН, что существенно упрощает конструкцию накопителя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Покопиловский Ю.Н., Таран Ю.В., Шапиро Ф.Л. ПТЭ, 1976, 3, с. 32; ОИЯИ, РЗ-9185, Дубна, 1975.
2. Шапиро Ф.Л. ОИЯИ, РЗ-7135, Дубна, 1973.
3. Ананьев В.Д. и др. ОИЯИ, РЗ-10888, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 февраля 1978 года.