

## НЕЙТРОННОЕ ЗЕРКАЛО

А. В. Антонов, Н. В. Галанов, А. И. Исаков, В. И. Мижеров,  
С. А. Старцев

УДК 539.125.5

Описывается нейтронное зеркало на основе интерференционных фильтров с областью зеркального отражения 0-25 м/с и средним коэффициентом отражения в этой области 0,95.

В [1] было показано существование разрешенных и запрещенных зон для нейтронов, взаимодействующих с интерференционным фильтром, который представляет собой чередующиеся слои веществ с различными ядерными характеристиками. Положение разрешенных и запрещенных зон в спектре нейтронов для данной пары веществ определяется толщинами их слоев. Объединяя интерференционные фильтры со смежными запрещенными зонами можно получить нейтронное зеркало с высокой  $v_{гр}$ .\*)

Задача создания нейтронного зеркала была исследована нами в общем виде. Основные требования к веществам для создания фильтра таковы: 1) максимальные значения потенциала  $|\text{Re } U_{1,2}|$ ,

где  $\text{Re } U_{1,2} = \frac{\hbar^2}{2m} N_{1,2} b_{\text{ког}1,2}$ ;  $m$  - масса нейтрона;  $N$  - концентрация ядер;  $b_{\text{ког}}$  - когерентная длина рассеяния. 2) Разные знаки  $\text{Re } U_1$  и  $\text{Re } U_2$ , и минимальные значения  $|\text{Im } U_{1,2}|$ ,

где  $\text{Im } U_{1,2} = -N \frac{\hbar}{2} \sigma_{1,2} v$ ,  $\sigma_{1,2}$  - сечение поглощения и неупругого рассеяния нейтрона,  $v$  - скорость нейтрона. Наиболее удобными с этой точки зрения являются следующие вещества:

\*) Задача расширения области зеркального отражения на основе интерференционных фильтров и многослойных структур рассматривалась также в работах [2-5].

$$c \quad b_{\text{НОГ}} > 0 - {}^{58}\text{Ni}, {}^9\text{Be}, {}^{12}\text{C}, {}^{118}\text{Sn},$$

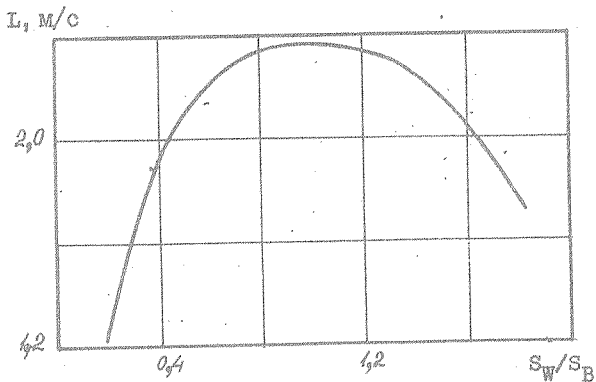
$$c \quad b_{\text{НОГ}} < 0 - {}^{62}\text{Ni}, \text{Ti}, {}^7\text{Li}, \text{V}.$$

В данной работе рассматриваются фильтры на основе  ${}^{58}\text{Ni} - {}^{62}\text{Ni}$ ,  ${}^9\text{Be} - {}^7\text{Li}$ . Расчетные потенциалы этих материалов представлены в табл. I.

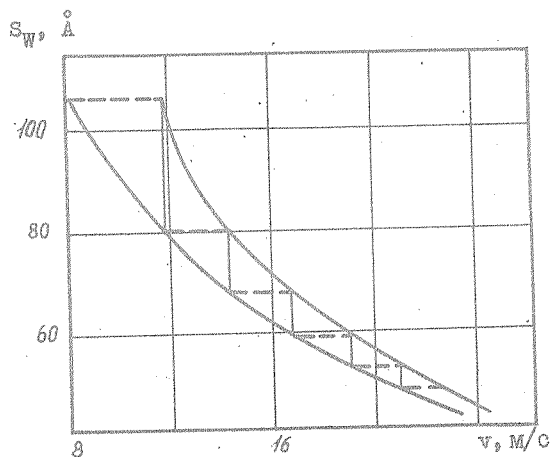
Таблица I.

Элемент	Re U, эрг	Im U, эрг
${}^{58}\text{Ni}$	$5,43 \cdot 10^{-19}$	$-0,46 \cdot 10^{-22}$
${}^{62}\text{Ni}$	$-3,28 \cdot 10^{-19}$	$-0,2 \cdot 10^{-21}$
${}^9\text{Be}$	$3,84 \cdot 10^{-19}$	-
${}^7\text{Li}$	$-0,36 \cdot 10^{-19}$	-

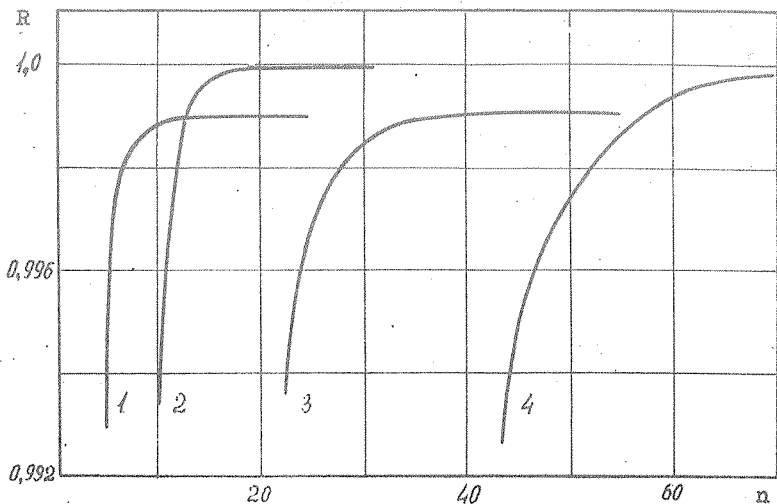
Расчет показывает, что ширины запрещенных зон наибольшие в области толщины слоев  $\sim 100 \text{ \AA}$ , когда ширина барьера  $S_B$  равна ширине ямы  $S_W$ . Зависимость ширины зоны на уровне  $R = 0,9$  от отношения  $S_W/S_B$  показана на рис. 1. Положение зон для  ${}^{58}\text{Ni} - {}^{62}\text{Ni}$  в области  $S_W = S_B \sim 20 \text{ \AA} + 100 \text{ \AA}$  показано на рис. 2. На этом рисунке показан принцип выбора толщин слоев  ${}^{58}\text{Ni} - {}^{62}\text{Ni}$  для нейтронного зеркала. Для системы  ${}^9\text{Be} - {}^7\text{Li}$  все графики имеют аналогичный вид. Наибольший коэффициент отражения  $R$  для одного фильтра и данной зоны зависит от числа пар слоев и величины  $\sigma_{1,2}$ , причем  $\sigma_{1,2}$  является определяющим фактором. При некотором числе пар слоев  $n$  коэффициент отражения  $R$  достигает насыщения и далее с увеличением  $n$  почти не возрастает, как показано на рис. 3. Выбирая начало запрещенной зоны второго фильтра там, где кончается запрещенная зона первого, и т.д. и собирая несколько фильтров в структуру, можно резко расширить область отражения для нейтронов до  $v \gg v_{\text{тр}}$ . На рис. 4 показаны характеристики двух нейтронных зеркал на основе  ${}^{58}\text{Ni} - {}^{62}\text{Ni}$  и  ${}^9\text{Be} - {}^7\text{Li}$ . При объединении фрагментов в структуру в области от-



Р и с. 1. Зависимость ширины зоны  $L$  на уровне  $R = 0,9$  от отношения ширины ямы  $S_W$  к ширине барьера  $S_B$ ,  $S_W + S_B = 150 \text{ \AA} = \text{const}$ ,  
 $n = 40$ . Фрагмент  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$



Р и с. 2. Положение запрещенных зон для фрагмента  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$ ,  
 $S_W = S_B$ ,  $n = 40$



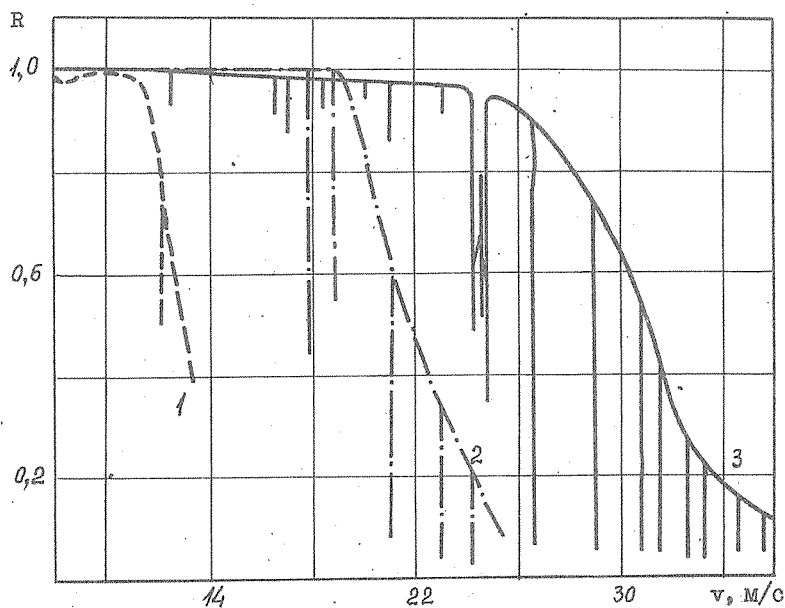
Р и с. 3. Зависимость коэффициента отражения  $R$  в центре зоны для систем  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$  и  $^9\text{Be} - ^7\text{Li}$  при указанных значениях  $S_W = S_B = S/2$ :

1 -  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$ ,  $S = 210 \text{ \AA}$ ; 2 -  $^9\text{Be} - ^7\text{Li}$ ,  $S = 216 \text{ \AA}$ ;

3 -  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$ ,  $S = 106 \text{ \AA}$ ; 4 -  $^9\text{Be} - ^7\text{Li}$ ,  $S = 108 \text{ \AA}$ .

ражения появляются узкие провалы - уровни резонансного поглощения; уменьшить их число и глубину можно симметризацией (перегруппировкой слоев) структуры согласно табл. 2.

Симметризованная структура состоит из двух одинаковых блоков, которые характеризуются данными табл. 2. Число резонансных линий поглощения в симметризованной структуре уменьшается примерно вдвое по сравнению с простой структурой. Таким образом можно создавать нейтронные зеркала на основе  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$  с  $v_{\text{гр}} \sim 25 \text{ м/с}$  и  $R \geq 0,9$  и на основе  $^9\text{Be} - ^7\text{Li}$  с  $v_{\text{гр}} \sim 18 \text{ м/с}$  и  $R \geq 0,96$ , а также на основе некоторых других вышеперечисленных пар. Для ослабления поглощения было бы полезным объединение фильтров на основе  $^9\text{Be} - ^7\text{Li}$  и  $^{58}\text{Ni} - ^{62}\text{Ni}$ . Так как технологи-



Р и с. 4. Коэффициенты отражения для структуры  $\text{Ni} - \text{Ti}/5/$  (1), простой структуры  ${}^9\text{Be} - {}^7\text{Li}$  (2), симметризованной структуры  ${}^{58}\text{Ni} - {}^{62}\text{Ni}$  (3)

чески выдержать точность напыления сложно, расчет проводился с дисперсией по толщине слоев, равной 8 Å.

Рассматриваемые зеркала могут найти широкое применение. Осуществление нейтронодов с использованием таких зеркал позволяет существенно увеличить потоки выводимых из реактора нейтронов. Применение интерференционного зеркала может обеспечить увеличение потока в  $(25/8)^4$  раз, т.е. примерно на два порядка. Кроме того, существенно упрощается вывод из реактора и более быстрых нейтронов, например, тепловых. Зеркала из слабопоглощающих веществ могут использоваться для создания нейтронных ловушек, что позволит увеличить число накапливаемых в ло-

Таблица 2.

Простая структура								
№ группы слоев	I	2	3	4	5	6	7	8
Толщина слоя, Å	105±8	80±8	67±8	59±8	53±8	50±8	47±8	44±8
Число слоев	40	60	80	100	120	140	160	180

Симметричная структура

№ группы слоев	I	2	3	4	5	6	7	8
Толщина слоя, Å	105±8	80±8	67±8	59±8	53±8	50±8	47±8	44±8
Число слоев	10	15	20	25	30	35	40	90

№ группы слоев	9	10	11	12	13	14	15
Толщина слоя, Å	47±8	50±8	53±8	59±8	67±8	80±8	105±8
Число слоев	40	35	30	25	20	15	10

вухе УХ нейтронов. Полупрозрачные зеркала позволят получить когерентные нейтронные пучки в широком диапазоне скоростей.

Поступила в редакцию  
22 июня 1981 г.

#### Л и т е р а т у р а

Г. А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. И. Микеров, С. А. Старцев,  
Письма в ЖЭТФ, 20, 632 (1974).

2. В. Ф. Турчин, Атомная энергия, 22, вып. 2, 183 (1967).
3. В. Р. Schoenborn, D. L. D. Caspar, O. F. Kammerer, J. Appl. Cryst., 7, 508 (1974).
4. F. Mezei, Commun. Physics, 1, N 3, 81 (1976).
5. А. Г. Лукасов, В. А. Рубан, М. Н. Бедрезова, Письма в ЖТФ, 3, вып. 3, 130 (1977).