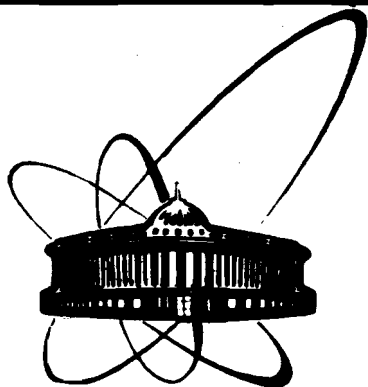


89-664



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

Г 604

P3-89-664

В.В.Голиков, Е.Н.Кулагин, Ю.В.Никитенко

**ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
В СЛАБОПОГЛОЩАЮЩИХ ВЕЩЕСТВАХ**

1989

1. ВВЕДЕНИЕ

Интерес к исследованиям отражения ультрахолодных нейтронов (УХН) от веществ с отношением η мнимой части амплитуды рассеяния b_i к реальной b_0 в диапазоне $10^{-6} \div 10^{-3}$ обусловлен существующим с 1970 г. расхождением между экспериментальными и теоретическими значениями коэффициента потерь УХН μ при их отражении от поверхности. Согласно ^{/1/}, для изотропного распределения нейтронов по углам

$$\mu = \frac{2\eta}{y} [\arcsin y - y(1-y^2)^{1/2}], \quad (1)$$

где $y = v/v_{\text{lim}}$, v — скорость УХН в вакууме, v_{lim} — граничная скорость нейтронов для данного вещества, $\eta = b_i/b_0 = \frac{k(\sigma_a + \sigma_s)}{4\pi b_0}$ — приведенный

коэффициент потерь УХН, σ_a и σ_s — сечения захвата и неупругого рассеяния нейтрона с волновым вектором k .

Измерения, проведенные в первые годы после открытия УХН, дали для коэффициента потерь УХН на самых различных материалах значения η , заметно превышающие величины, рассчитанные из сечений захвата и неупругого рассеяния нейтронов ^{/2/}. В дальнейших исследованиях удалось установить, что причиной потерь УХН на уровне $\eta \sim (10^{-3} \div 10^{-4})$ является их нагрев (неупругое рассеяние) при столкновении с поверхностью вещества. В экспериментах с обезгаженной высокотемпературным отжигом медью удалось вплотную приблизиться к значению η , предсказываемому теорией ^{/3/}.

В настоящее время актуальным становится вопрос измерения коэффициентов потерь УХН и проверки соответствия их значений расчетам для веществ с $\eta \sim 10^{-5} \div 10^{-6}$. Возможно, что в этой области η коэффициент потерь в определенной степени будет определяться каким-либо из факторов, привлеченных в свое время при попытках объяснения избыточных потерь УХН на уровне $\sim 10^{-4}$ ^{/2/}.

Экспериментальные результаты по коэффициенту потерь в основном получены из измерений времени жизни УХН в замкнутых ловушках. Эта методика сталкивается с определенными трудностями, связанными, например, с проблемой очистки поверхности ловушек больших объемов. Очевидно, что по мере продвижения к сверхмалым значениям η возраста-

ют трудности измерения коэффициента потерь. В связи с этим представляется целесообразным использовать различные методы измерения.

Одним из новых методов измерения μ , возникших в последнее время, является метод, основанный на диффузии УХН в порошках. Он заключается в том, что о коэффициенте потерь судят по величине интегрального коэффициента отражения (альбедо) УХН от слоя порошка^{/4/}. При диффузии УХН в слое порошка нейтроны в условиях полного отражения от поверхности зерен испытывают, как и при хранении УХН в ловушке, большое число столкновений. Тем самым увеличивается в сотни раз по сравнению с однократным отражением вероятность потери УХН.

Измерения, впервые проведенные этим методом^{/4/}, показали, что он с успехом может быть использован для измерений коэффициента потерь УХН в диапазоне $10^{-3} \div 10^{-6}$. Полученные данные по коэффициенту потерь на необезгаженном порошке меди совпали с результатами^{/2/}, полученными методикой хранения УХН в ловушках. В то же время на обезгаженных порошках меди и окиси меди впервые наблюдалось согласие экспериментальных данных по коэффициенту потерь УХН при комнатной температуре с теоретическими значениями, рассчитанными по известным сечениям захвата и неупругого рассеяния нейтронов в этих веществах.

Настоящая работа является продолжением исследований, ведущихся этим методом. В работе кратко излагается суть метода, показывается, что он может быть использован и в случае, когда свойства порошка являются неоднородными. Описывается установка для измерений коэффициентов отражения УХН и сообщаются экспериментальные данные по коэффициенту потерь УХН в графите и бериллии.

2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ

Рассмотрим отражение падающих из вакуума моноэнергетических нейтронов от слоя порошка толщиной ℓ в случае, когда скорость нейтронов v меньше граничной скорости v_{lim} материала зерна порошка. Будем считать, что вероятность потерь УХН значительно меньше вероятности рассеяния. Тогда процесс распространения УХН в слое порошка можно описать уравнением диффузии

$$d^2 n(z)/dz^2 = n(z)/L^2, \quad (2)$$

где $n(z)$ — плотность нейтронов, z — координата по направлению нормали к поверхности раздела вакуум — порошок, L — длина диффузии УХН в порошке.

Допустим, что коэффициент потерь УХН μ изменяется по толщине слоя порошка в направлении оси z . Конкретно это имеет место, например, при существовании градиента температуры вдоль z . Тогда вследствие зависимости сечения неупругого рассеяния УХН от температуры коэффициент потерь $\mu(z)$ также оказывается зависимым от z : $\mu(z) = \mu_0 f(z)$. Получим выражение для коэффициента отражения R от слоя порошка. Для этого представим слой порошка совокупностью n подслоев толщиной $\Delta \ell = \ell/n$ каждый (число n определяется необходимой точностью вычисления R). Каждому j -подслою будет соответствовать коэффициент потерь μ_j , постоянный в пределах подслоя. В результате решения уравнения (2) для коэффициентов отражения r_j и пропускания t_j УХН j -подслоем получим следующие выражения^{/5/}:

$$r_j = \rho_j (1 - e_j^2) (1 - \rho_j^2 e_j^2)^{-1}, \quad t_j = e_j (1 - \rho_j^2) (1 - \rho_j^2 e_j^2)^{-1}, \quad (3)$$

где введены обозначения $e_j = \exp(-\frac{\Delta \ell}{L_j})$; $\rho_j = (1 - \omega_j)/(1 + \omega_j)$; $\omega_j = 2(\mu_j/3)^{1/2}$; $L_j = 4 \frac{c - c_1}{c_1} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{3\mu_j}}$; c — плотность материала зерна; c_1 — насыпная плотность порошка; S и V — площадь поверхности и объем отдельного зерна порошка.

Коэффициенты отражения R_j и пропускания T_j слоя толщиной $\ell_j = j \Delta \ell$ определяются с помощью рекуррентных соотношений^{/6/}

$$R_j = R_{j-1} + T_{j-1}^2 r_j (1 - R_{j-1} r_j)^{-1}, \quad T_j = T_{j-1} t_j (1 - R_{j-1} r_j)^{-1}, \quad (4)$$

где $j = 2, \dots, n$.

Наконец, с учетом подложки с коэффициентом отражения q для коэффициента отражения R всего слоя порошка имеем

$$R = R_n + T_n^2 q (1 - R_n q)^{-1}. \quad (5)$$

Как следует из (3) ÷ (5), для определения μ_0 при известных параметрах зерен и слоя порошка достаточно измерить коэффициент отражения $R(\ell)$ от слоя заданной толщины. Для $\mu(z) = \text{const}$ знание этих параметров не является необходимым. Коэффициент потерь в этом случае определяется величиной коэффициента отражения УХН R_∞ от слоя бесконечной толщины

$$\mu = \frac{3}{4} \left(\frac{1 - R_\infty}{1 + R_\infty} \right)^2. \quad (6)$$

В экспериментах по определению μ толщина слоя l обычно превышает три диффузионные длины, и при этом ошибка определения коэффициента потерь УХН по формуле (6) не превышает 1%.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальные исследования проведены на канале УХН реактора ИБР-2. К выходу канала, по которому поступают нейтроны в интервале скоростей $(0 - 5,7) \text{ М} \cdot \text{с}^{-1}$, через S-образное колено 1 подсоединена установка для измерения интегрального по углу коэффициента отражения УХН (рис.1). Изменением высоты H_1 расположения установки над осью канала, осуществляемым вращением колена, достигается изменение спектра УХН на слое порошка 4. В большинстве экспериментов слой порошка толщиной $1 \div 25$ мм засыпался в открытую со стороны объема установки цилиндрическую кассету с отражающей УХН подложкой (медь или нержавеющей сталь). В отдельных случаях слой порошка помещался на поглотителе УХН — полиэтилене. Максимальная площадь образца составляла 300 см^2 . Нагреватель 5 обеспечивал прогрев образца в вакууме установки до температуры 1000 К. Для исключения нагрева элементов установки осуществлялось охлаждение нейтроновода 3 проточной водой 6. В вертикальном участке нейтроновода 7 установлен детектор УХН 8 — пропорциональный счетчик на основе ^3He . Для реги-

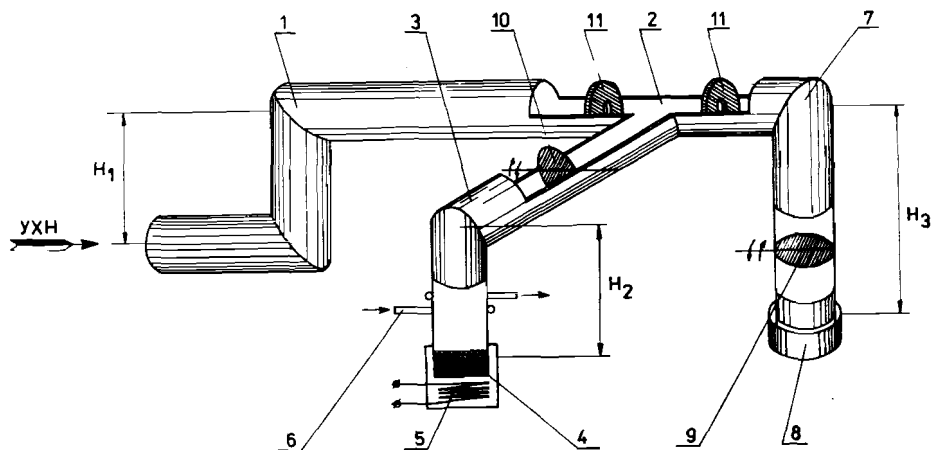
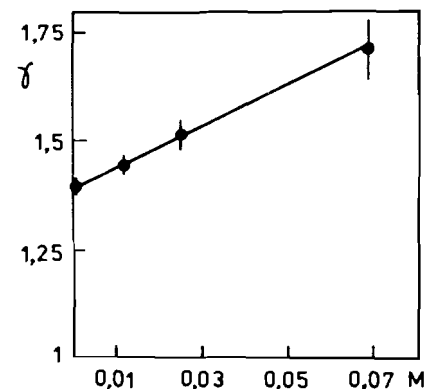


Рис.1. Схема экспериментальной установки. 1 — S-образное колено; 2 — разветвленный нейтроновод; 3 — нейтроновод на образец; 4 — образец, 5 — нагреватель образца; 6 — охлаждающий водяной контур; 7 — нейтроновод на детектор; 8 — детектор; 9 и 10 — поворотные шторки; 11 — диафрагмы.

Рис.2. Калибровочная кривая установки при проведении экспериментов с бериллиевым порошком.



страции УХН всего спектра используется их ускорение в гравитационном поле, для чего детектор располагается ниже центра разветвленного нейтроновода на расстоянии H_3 . Аппаратурное выделение УХН обеспечивалось использованием традиционной методики "шторочной разности" $J/2$: для этой цели перед детектором установлена поворотная медная шторка 9. Аналогичная шторка 10 размещена перед образцом. Шторка 10 ("стандартный образец") предназначена для учета возможного дрейфа аппаратуры. Это обеспечивается проведением попеременных измерений счета УХН с исследуемым образцом и шторкой 10. Диафрагмы 11 обеспечивают режим частичного накопления УХН в нейтроноводе 3, что приводит к увеличению чувствительности измерения поглощения УХН в слое порошка и, в конечном счете, к сокращению времени измерений. В установке системой безмасляной откачки поддерживается вакуум 10^{-6} Тор. Для управления установкой, сбора и предварительной обработки информации использовался измерительный модуль на базе ЭВМ MERA-60.

Скорость счета детектора в установке зависит от вероятности потерь УХН в образце $M = 1 - R$. Для проведения абсолютных измерений величины M в исследуемом порошке проводится калибровка установки с образцами, имеющими известное поглощение. В данном случае калибровка установки осуществлялась путем измерения зависимости обратной скорости счета УХН от площади S_K образца из полиэтилена, для которого с точностью $\sim 0,5\%$ вероятность потерь $M_K = S_K / S_H$ (S_H — площадь поперечного сечения слоя порошка). На рис.2 для примера приведена калибровочная зависимость $\gamma(M_K) = J/J_K$ установки в измерениях с бериллиевым порошком, где J_K и J — "шторочные разности" скоростей счета детектора при наличии полиэтилена площадью S_K и от "стандартного образца", соответственно. Чувствительность установки характеризуется тем, что изменение коэффициента отражения на 1% приводит к изменению счета детектора на 3,5%. При измерениях с исследуемым образцом вероятность потерь УХН в порошке M_X полагалась равной M_K , если выполнялось соотношение:

$$\gamma(M_K) = \gamma(M_X). \quad (7)$$

При обработке результатов измеренное значение M_x отождествлялось со значением M при средней по спектру скорости v УХН. Из-за малых отклонений коэффициента отражения $R_{от}$ единицы форма спектра УХН считалась неизменной для всех образцов и предполагалась максвелловской. Как показывают расчеты, из-за довольно узкого интервала скоростей УХН при измерениях ($\Delta v = 1,6 \div 2,8$) $m \cdot s^{-1}$ значение средней скорости \bar{v} слабо зависит от вида спектра. К тому же ошибка определения коэффициента потерь, обусловленная неточностью знания средней скорости УХН, мала по сравнению со статистической ошибкой измерений. Так, даже в таком крайне гипотетическом случае, когда спектр нейтронов имеет вид δ -функции при v_1 или v_2 , ошибка определения коэффициента потерь не превышает 50% (v_1 и v_2 — максимальная и минимальная скорости УХН на образце).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные результаты работы приведены в таблице. В первых двух колонках указаны условия приготовления образца и его температура во время измерений. Из-за наличия градиента температуры по толщине слоя порошка как при проведении отжига, так и в ходе экспериментов с нагретыми образцами, в таблице даны значения температуры поверхностных слоев порошка, обращенного к падающему потоку УХН (T_1) и соприкасающегося с подложкой (T_2). В третьей и четвертой колонках приведены экспериментальные данные по вероятности потерь УХН M в образце и соответствующие этим величинам M значения η , приведенные к температуре 300 К. Для определения вида $\eta(z)$ и извлечения величины $\eta(300 \text{ К})$ из данных с нагретыми образцами использовались экспериментально измеренные зависимости температуры $T(z)$ в слое порошка и известные зависимости сечения неупругого рассеяния от температуры $\sigma_S(T)$. Для графита данные $\sigma_S(T)$ взяты из работы^{/7/}. Для бериллия зависимость $\sigma_S(T)$ рассчитывалась в некогерентном приближении по дебаевской модели с температурой Дебая $\theta_D = 1440 \text{ К}^{8/}$, при этом имеющиеся в области низких энергий экспериментальные данные по полному сечению взаимодействия нейтронов с бериллием при $T = 300 \text{ К}$ и $T = 440 \text{ К}^{9/}$ использовались как эталонные.

Графит. Теоретическая величина η в графите при комнатной температуре равна $4 \cdot 10^{-6}$ /2/. Ранее /10/ из данных по времени жизни УХН в графитовой ловушке при $T = 300 \text{ К}$ было получено значение $\eta = 4 \cdot 10^{-4}$, что на два порядка превосходит расчетную величину.

В настоящей работе измерения с порошком, полученным из блока реакторного графита плотностью $1,6 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, проведены с УХН в интер-

Условия приготовления образца	Температура образца при измерениях, К (T_1, T_2)	Вероятность потерь УХН в образце, M	Приведенный коэффициент потерь, η (300 К)
Графит Неотожженный порошок после пребывания на воздухе	293	$0,0165 \pm 0,0027$	$(3,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-5}$
Отжиг в течение 24 ч при (510; 650) К	293	$0,0140 \pm 0,0014$	$(3,0 \pm 0,65) \cdot 10^{-5}$
Отжиг в течение 24 ч при (510; 650) К	400; 480	$0,0064 \pm 0,0023$	$(3,5^{+3,0}_{-2,1}) \cdot 10^{-6}$
Бериллий Неотожженный порошок после пребывания на воздухе	293	$0,00766 \pm 0,00173$	$(9,4 \pm 4,2) \cdot 10^{-6}$
Отжиг в течение 40 ч при (383; 523) К	383; 523	$0,0284 \pm 0,0080$	$(7,0 \pm 3,8) \cdot 10^{-5}$
Отжиг в течение 24 ч при (453; 633) К	383; 523	$0,0140 \pm 0,0055$	$(1,6 \pm 1,2) \cdot 10^{-5}$
Отжиг в течение 100 ч при (453; 633) К	383; 523	$0,0060 \pm 0,0050$	$(3,1^{+5,1}_{-3,1}) \cdot 10^{-6}$
Отжиг в течение 100 ч при (453; 633) К	453; 633	$0,0090 \pm 0,0057$	$(5,3^{+6,4}_{-4,9}) \cdot 10^{-6}$
Отжиг в течение 100 ч при (453; 633) К	293	$0,0185 \pm 0,0050$	$(6,0 \pm 3,3) \cdot 10^{-5}$
Отжиг в течение 100 ч при (453; 633) К в герметичной камере	293	$0,0053 \pm 0,0011$	$(4,6 \pm 1,9) \cdot 10^{-6}$

валах скоростей $(2,6 \div 5,2)$ и $(2,6 \div 4,2)$ м·с⁻¹. Средний размер зерна порошка и толщина слоя графита составляли 7 мкм и 14 мм, соответственно.

На свежеприготовленном порошке графита при комнатной температуре получено значение $\eta = (3,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-5}$. Отжиг порошка непосредственно в экспериментальной установке в течение 24 ч при температуре (510; 650) К не привел в измерениях при $T = 300$ К к изменению коэффициента потерь $\eta = (3,0 \pm 0,65) \cdot 10^{-5}$. В то же время, если после отжига порошок находился в нагретом состоянии (400; 480) К, то наблюдалось заметное уменьшение поглощения УХН в образце, и соответствующее значение $\eta(300 \text{ К}) = (3,5^{+3,0}_{-2,1}) \cdot 10^{-6}$ согласуется с расчетом.

То, что минимальное значение η после отжига реализуется при температурах выше 400 К, по-видимому, указывает на загрязнение поверхности зерен порошка при более низких температурах за счет адсорбции газов, находящихся в экспериментальной установке. При экспериментах с графитом открытая поверхность порошка была непосредственно связана с 450-литровым вакуумным объемом канала УХН. Во время отжига образца нагревается практически только порошок, а температура остальных узлов установки остается неизменной. В результате при охлаждении обезгаженного образца, по-видимому, происходит адсорбция на поверхности зерен порошка водородсодержащих веществ, поступающих из объема канала УХН. Более подробно этот эффект, а также температурная зависимость коэффициента потерь УХН были исследованы на другом слабопоглощающем веществе — на бериллии.

Бериллий. Теоретическая величина η в бериллии при комнатной температуре равна $5 \cdot 10^{-6}$ [2]. Ранее [11] при хранении УХН в сосудах с напыленными бериллиевыми стенками, обезгаженными прогревом, при $T = 300$ К было получено значение $\eta = (1,75 \pm 0,25) \cdot 10^{-4}$.

Измерения с бериллиевым порошком со средним размером зерна 36 мкм и толщиной слоя ~20 мм проведены с УХН в интервалах скоростей $(2,8 \div 5,6)$ и $(3,3 \div 5,9)$ м·с⁻¹. Содержание бериллия в порошке составляло 98,7%. Основным примесным элементом в образце являлся кислород — 1,2%.

С порошком бериллия были проведены две серии измерений. В первой серии бериллий, как и графит, имел открытую поверхность и непосредственно был связан с вакуумным объемом канала УХН.

Для неотожженного порошка бериллия при комнатной температуре получено довольно малое значение $\eta = (9,4 \pm 4,2) \cdot 10^{-6}$. Первоначальный нагрев порошка до температуры (383; 523) К приводит к росту вероятности потерь: после 40 ч прогрева при этой температуре $M = 0,0284 \pm 0,0080$. Возрастание M , по-видимому, связано с ростом сечения неупру-

гого рассеяния УХН на водородсодержащих примесях необезгаженного при этой температуре порошка. После увеличения температуры отжига бериллия до величины (453; 633) К с течением времени происходило уменьшение вероятности потерь УХН, и после ~100 ч отжига было получено значение $M = 0,0090 \pm 0,0057$. Увеличение продолжительности отжига порошка в этих температурных условиях не привело к изменению величины M . Чтобы убедиться в том, что порошок обезгажен, после его отжига при температуре (453; 633) К было проведено повторное измерение при температуре (383; 523) К. При этом для M получено значение $0,0060 \pm 0,0050$.

Соответствующее обезгаженному порошку суммарное значение $\eta(300 \text{ К}) = (3,8^{+4,0}_{-2,8}) \cdot 10^{-6}$ в пределах ошибки измерений согласуется с расчетным значением коэффициента потерь УХН в бериллии.

Вместе с тем охлаждение бериллия после его отжига до комнатной температуры в вакууме экспериментальной установки, как и в случае графита, привело к увеличению вероятности потерь УХН $M = 0,0185 \pm 0,0050$, что соответствует $\eta(300 \text{ К}) = (6,0 \pm 3,3) \cdot 10^{-5}$.

Во второй серии измерений были приняты меры по вакуумной изоляции образца от объема канала УХН. Для этого вблизи образца в районе охлаждения нейтроновода проточной водой была установлена алюминевая фольга толщиной 50 мкм, а вакуумная откачка образовавшейся камеры образца осуществлялась отдельным магниторазрядным насосом. Для избежания неконтролируемого наращивания окисной пленки на поверхности Al-фольги во время проведения измерений с бериллием предварительно пустая камера с Al-фольгой подвергалась вакуумному отжигу при более высокой температуре, чем при измерениях с бериллием. При этом калибровочная кривая установки после окончания экспериментов с бериллием осталась прежней.

В отличие от результатов первой серии измерений охлаждение порошка бериллия в герметичной камере до комнатной температуры после его отжига в течение 100 ч при температуре (453; 633) К привело к уменьшению вероятности потерь в образце M до величины $0,0053 \pm 0,0011$, что соответствует значению $\eta = (4,6 \pm 1,9) \cdot 10^{-6}$.

Суммируя результаты двух серий измерений, в итоге имеем $\eta(300 \text{ К}) = (4,4^{+1,7}_{-1,5}) \cdot 10^{-6}$.

Из измерений при двух толщинах порошка, находящегося при комнатной температуре, был определен средний диаметр зерен бериллия $37,5 \pm 7,5$ мкм. Это значение хорошо согласуется с паспортными данными.

Как указано выше, основным примесным элементом в порошке бериллия являлся кислород. Согласно литературным данным [8], раство-

римось кислорода в бериллии мала, и, как правило, кислород находится в виде окиси бериллия BeO , особенно тогда, когда бериллий используется в виде порошка. Поэтому не исключено, что на поверхности зерен порошка находится пленка окиси бериллия. Поскольку в BeO при $T=300\text{ K}$ расчетное значение $\eta=1,6 \cdot 10^{-6}$, то в этом случае коэффициент потерь УХН в материале исследуемого порошка должен быть меньше коэффициента потерь в чистом бериллии (необходимое для расчета η сечение неупругого рассеяния в BeO взято из работы [12]).

Анализ экспериментальных данных по вероятности потерь УХН в образце М показывает, что даже предположение о наличии толстой пленки BeO приводит к малому изменению приведенных в таблице значений η . Так, в нижней строке таблицы соответствующее обезгаженному порошку BeO , находящемуся в герметичной камере при $T=300\text{ K}$, значение $\eta = (4,7 \pm 2,0) \cdot 10^{-6}$. Как видно из сравнения полученных данных по η для Be и BeO , экспериментальные результаты с большей вероятностью согласуются с расчетами для бериллия, чем для BeO . Хотя такое значение не исключено и для BeO при наличии дополнительных потерь УХН в образце.

Проведенные исследования экспериментально подтвердили возможность определения коэффициента потерь УХН на уровне 10^{-6} методом диффузии УХН в порошках. При этом на графите и бериллии впервые получены экспериментальные данные, хорошо согласующиеся с расчетами, основанными на известных сечениях захвата и неупругого рассеяния нейтронов в этих веществах.

Авторы выражают искреннюю признательность В.К.Игнатовичу за полезные обсуждения вопросов, изложенных в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапиро Ф.Л. — ОИЯИ, Р3-7135, Дубна, 1973.
2. Игнатович В.К. — Физика ультрахолодных нейтронов. М.: Наука, 1986, с.116.
3. Косвинцев Ю.Ю. и др. — АЭ, 1984, т. 55, с. 288.
4. Голиков В.В., Кулагин Е.Н., Никитенко Ю.В. — ОИЯИ, Р3-87-20, Дубна, 1987.
5. Игнатович В.К., Никитенко Ю.В. — ОИЯИ, Р3-87-326, Дубна, 1987.
6. Ignatovich V.K. — JINR, E4-87-880, Dubna, 1987.
7. Казарновский М.В. — ЖЭТФ, 1956, 31, с.696.
8. Дарвин Дж., Баддери Дж. — Бериллий. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962, с.203.
9. Hughes D.J., Schwartz R.B. — Neutron Cross Sections, N.Y., 1958, p. 87.
10. Steyerl A. Trusted W.D. — Z. Phys., 1974, v. 267, p. 379.

11. Морозов В.И. — Хранение ультрахолодных нейтронов в замкнутых сосудах. Обзор, Димитровград: НИИАР, 1982.
12. 5 Meeting of the Study Group on the Extraction of UCN from the ILL Reactor. 13-14 December 1973, Grenoble, p. 5.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 сентября 1989 года.