

5128405806

НИИАР-36(601)



НИИАР

Институт исследований в области физики и химии
атомных реакторов им. В.И.Ленина

**Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир,
В.И.Морозов, Г.И.Терехов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
С ПОВЕРХНОСТЬЮ БЕРИЛЛИЯ**



**Ядерная
Физика**

Дмитровград-1983

УДК 530.125.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ БЕРИЛЛИЯ: Препринт/ Ю.Д.Косвинцев, Ю.А.Кушнир, В.И.Морозов, Г.И.Терехов.- НИИАР-36(601).- Дмитровград, 1983, 16 с.

Р е ф е р а т

Исследован процесс взаимодействия ультрахолодных нейтронов (УХН) с поверхностью бериллия. Установлено, что основной причиной аномальной утечки УХН из бериллиевых сосудов является нагрев нейтронов при ударах о стенки. Энергия нагретых УХН составляет 25 мэВ при температуре 300 К. Изучена зависимость вероятности нагрева УХН и энергии нагретых нейтронов от температуры. Показано, что процесс аномальной утечки УХН из бериллиевых сосудов может эффективно подавляться охлаждением сосудов. Обсуждены возможные физические причины наблюдающегося нагрева (рис. 4, список лит. - 18 назв.).



Научно-исследовательский институт
атомных реакторов им. В.И.Ленина
(НИИАР), 1983

ВВЕДЕНИЕ

Проблема аномально-быстрой утечки ультрахолодных нейтронов (УХН) из замкнутых сосудов, возникшая более 10 лет назад [1], до настоящего времени остается не решенной. Как известно, сущность её состоит в том, что практически ни в одном опыте по хранению УХН пока не удалось достичь теоретически омидаемого коэффициента их потерь.

Некоторый прогресс в решении этой задачи, казалось, произошел после того, как в работах [2,3] было показано, что для медных сосудов причиной аномальной утечки является нагрев (неупругое рассеяние) УХН до энергии 5–15 мэВ при ударах о стенки сосудов. Примерно в это же время методом ядерных реакций [4] на поверхности образцов из меди, стекла, нержавеющей стали и других материалов были обнаружены атомы водорода в количестве, необходимом для объяснения процесса утечки УХН их нагревом на водороде [5,6]. Однако этой гипотезе противоречили результаты работ [1,7–10], в которых была показана независимость времени хранения УХН от температуры стенок сосудов.

Следствием этого противоречия явилось возникновение двух совершенно различных точек зрения на механизм аномальной утечки УХН из сосудов. Первая из них состояла в том, что причиной утечки является нагрев УХН, вероятность которого чрезвычайно слабо зависит от температуры стенок сосудов. Теоретические попытки обосновать возможность такого процесса предпринимались в работах [5,6,11]. В основе второй точки зрения лежало предположение, что причиной

утечки является не нагрев, а какой-то универсальный для всех материалов процесс неизвестной природы, который формально можно описать введением дополнительного сечения взаимодействия $(8 - 10) 10^{-24} \text{ см}^2$ (при экстраполяции в тепловую область). Отсутствие температурной зависимости вероятности утечки УХН указывало на то, что, возможно, этот канал связан с фундаментальными свойствами самого нейтрона. Высказывавшиеся по этому поводу гипотезы обсуждались в работах [12-15].

Прояснение этой ситуации наступило после того, как в работе [16] при хранении УХН в алюминиевом сосуде была обнаружена заметная температурная зависимость вероятности аномальной утечки нейтронов. Хотя зависимость была найдена только для одного материала, сам факт её существования поставил под сомнение гипотезу универсального для всех материалов процесса как причины аномальной утечки УХН. Вторым опровержением этой гипотезы стало то, что в работе [17] очисткой поверхности алюминиевого сосуда коэффициент потерь УХН удалось понизить до значения, всего лишь в 4-5 раз превышающего теоретическое. Из данных работы [17] следовало, что если даже гипотетический универсальный процесс и существует, то эффективное сечение взаимодействия, которое ему можно сопоставить, не превышает $\sim 2 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$. Основная же утечка УХН из алюминиевых сосудов обусловлена нагревом нейтронов на поверхностных примесях (возможно, водородосодержащих). Причем вероятность нагрева заметно зависит от температуры сосудов.

Вопрос о причинах утечки УХН в сосудах из других материалов не был столь очевидным. Логично было предположить, что и в них утечка УХН обусловлена нагревом нейтронов на поверхностных водородосодержащих примесях. Однако отсутствие температурной зависимости вероятности аномальной утечки УХН, наблюдавшееся во многих работах, не согласовывалось с этим предположением. Существование процесса нагрева УХН, не чувствительного к температуре, казалось парадоксальным. В создавшейся ситуации стало ясно, что необходимо

непосредственное исследование процесса взаимодействия УХН с поверхностью этих материалов для выяснения его физической природы. В настоящей работе приведены результаты такого исследования для бериллия - материала, наиболее перспективного с точки зрения хранения УХН.

I. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как известно, полный коэффициент потерь при однократном столкновении УХН со стенкой сосуда выражается как

$$\bar{\mu} = \eta \alpha,$$

где

$$\eta = \frac{K(\sigma_a + \sigma_{ny})}{4\pi v_{коз}};$$

$$\alpha = \frac{2}{y^2} (\arcsin y - y\sqrt{1-y^2});$$

$$y = \frac{v}{v_{гр}};$$

K - волновое число;

σ_a, σ_{ny} сечение захвата и неупругого рассеяния;

$v_{коз}$ - длина рассеяния;

v - скорость УХН;

$v_{гр}$ - граничная скорость.

Из экспериментов по хранению УХН обычно определяется значение параметра

$$\eta_{эксп} = (\tau_{хр} \nu \alpha)^{-1},$$

где

$\tau_{хр}$ - время хранения;

ν - частота ударов УХН о стенки сосуда.

Наличие аномальной утечки УХН проявляется в существовании превышения $\Delta\eta = \eta_{эксп} - \eta$. Если сделать самое общее предположение, что аномальная утечка УХН обусловле-

на, кроме нагрева УХН на водородосодержащих примесях, ещё каким-то процессом (или процессами), отличным от нагрева, то

$$\eta_{\text{эксп}} = \eta + \eta_{\text{H}} + \eta_{\text{x}},$$

где

η_{H} - вклад процесса нагрева УХН;

η_{x} - вклад процесса, отличного от нагрева.

При облучении образца исследуемого материала потоком УХН поток нагретых нейтронов Φ , идущих от образца в некоторый фиксированный телесный угол, будет пропорционален вкладу η_{H} . Очевидно, что при обезгаживании образца $\Phi \propto \eta$ и $\eta_{\text{эксп}}$ будут уменьшаться в результате десорбции примесей.

В процессе обезгаживания поверхности образца можно определить экспериментальный вид зависимости $\eta_{\text{эксп}}(\Phi)$. Экстраполяция в этой зависимости Φ к нулю должна дать значение $\eta_{\text{эксп}} = \eta + \eta_{\text{x}}$, из которого можно составить представление о η_{x} . Для реализации такой методики необходимо обеспечить возможность одновременного измерения $\eta_{\text{эксп}}$ и Φ в процессе обезгаживания образца.

Схема установки, примененной для этой цели в настоящей работе, приведена на рис.1. Для проведения измерений использовались образцы в виде тонких пластин, свернутые в цилиндрические спирали (радиаторы). Исследовавшийся радиатор укреплялся на штоке и мог вводиться или выводиться из объема сосуда хранения УХН. Сосуд (длина 50 см и диаметр 9 см) был изготовлен из нержавеющей стали и соединен одним из своих торцов с вакуумной шлюзовой камерой. Из транспортного нейтронновода через мембрану и входные заслонки сосуд заполнялся УХН. Регистрация нейтронов, сохранившихся в сосуде, производилась газовым пропорциональным счетчиком на основе ^3He при отпирании заслонки детектора. Изменение температуры радиатора осуществлялось нагревом или охлаждением сосуда с помощью трубок жидкого азота и нагревательных спиралей. Сосуд откачивался через патрубки до вакуума около $1,3 \text{ Па}$.

нагретых нейтронов произошло по ослаблению нейтронного пучка в газовом слое ${}^3\text{He}$, сечение захвата которого $\sigma_a = 5340 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ при $v_T = 2200 \text{ м/с}$ и подчиняется закону $\sigma_a = \frac{v_T \sigma_T}{v}$.

При измерении $\eta_{\text{эксп}}$ движением штока радиатор вводился в объем сосуда хранения, тарелочной заслонкой закрывался торец сосуда, после чего измерялось время хранения в сосуде с радиатором τ . Далее радиатор выводился в шлюзовую камеру, торец сосуда закрывался поворотной заслонкой, и измерялось время τ_0 хранения УХН в сосуде без радиатора. Значение $\eta_{\text{эксп}}$ определялось разностным методом из соотношения

$$\eta_{\text{эксп}} = \frac{4(\tau^{-1} - \tau_0^{-1})\Omega}{\chi(\bar{v})\bar{v}S},$$

где

\bar{v} - средняя скорость УХН в сосуде (4,5 м/с);

S - площадь поверхности пластин радиатора;

Ω - объем сосуда.

Измерение потока нагретых УХН производилось при открытых входных заслонках и закрытой заслонке детектора УХН. Радиатор вводился в объем сосуда хранения, где происходило его облучение ультрахолодными нейтронами. Счет J детектора нагретых УХН определялся его эффективностью и давлением P в газовой ампуле:

$$J(P) = \int_0^{\infty} \varphi(v) e^{-\frac{n_0 \sigma_T P d v_T}{P_0 v}} \left(1 - e^{-\frac{n_0 \sigma_T P_1 d_1 v_T}{P_0 v}}\right) dv,$$

где

$\varphi(v)$ - спектр потока Φ нагретых УХН;

d - эффективная толщина газовой ампулы;

P_0 - нормальное давление;

P_1 - давление ${}^3\text{He}$ в детекторе;

n_0 - число Ломовицта;

d_1 - эффективная толщина рабочего объема детектора.

Восстановление спектра $\varphi(v)$ из известной зависимости $J(P)$ в принципе возможно методом регуляризации [18]. Однако эта процедура требует высокой статистической точности определения $J(P)$ в широком интервале изменения давления ^3He . При достигаемых в настоящее время потоках УХН можно лишь оценить скорость нагретых нейтронов, определив некую эквивалентную скорость моноэнергетических нейтронов $v_{\text{экв}}$, поток которых ослабился бы в слое ^3He так же, как и поток исследуемых нагретых УХН. Фактически такая оценка соответствует предположению, что $\varphi(v) \propto \delta(v - v_{\text{экв}})$. В связи с этим в данной работе к экспериментальным точкам $J_i(P_i)$ методом наименьших квадратов подгонялась зависимость

$$J(P) = J(0) e^{-\frac{n_0 P \sigma_T d v_T}{P_0 v_{\text{экв}}}},$$

откуда $J(0)$ и $v_{\text{экв}}$ определялись как параметры. Поток нагретых УХН определялся из соотношения

$$\Phi = J(0) \left(1 - e^{-\frac{n_0 \sigma_T P_i d_i v_T}{P_0 v_{\text{экв}}}}\right)^{-1}$$

При измерении экспериментальной зависимости $\eta_{\text{эксп}}(\Phi)$ определенные из последнего соотношения значения потока нормировались к постоянной величине плотности потока УХН, облучающих радиатор. Контроль за плотностью потока УХН в сосуде осуществлялся по скорости счета УХН, проходивших к детектору через небольшое отверстие в закрытой заслонке детектора.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Использовавшийся бериллиевый радиатор был изготовлен из трех пластин толщиной 0,8 мм с суммарной площадью поверхности 2660 см². Пластины были свернуты в цилиндрические спирали, ширина кольцевого зазора около 1 см. Непосредственно после травления в 10 %-ном растворе HF и про-

мывки пластин значение $\dot{V}_{экс}$ для УХН, нагревающихся при ударах о поверхность радиатора, составило $(0,75 \pm 0,06) \dot{V}_T$ при 300 К. После отжига радиатора в вакууме при 800 К в течение 1,5 ч счет $J(0)$ уменьшился в 4 раза по сравнению с первоначальным, а значение $\dot{V}_{экс}$ при 300 К возросло до $(0,98 \pm 0,11) \dot{V}_T$. На достигнутом уровне очистки поверхности, соответствующем значению $\eta_{экс} = (9,9 \pm 1,0) 10^{-4}$, было проведено исследование характеристик процесса нагрева УХН.

На рис.2 приведена зависимость $J(P)$, измеренная при температурах радиатора 125, 300, 600 и 800 К. Соответствующие значения $\dot{V}_{экс}$ составили $(0,56 \pm 0,25) \dot{V}_T$, $(0,98 \pm 0,11) \dot{V}_T$, $(1,34 \pm 0,17) \dot{V}_T$ и $(1,57 \pm 0,39) \dot{V}_T$, т.е. наблюдалось заметное смягчение спектра нагретых УХН при понижении температуры радиатора.

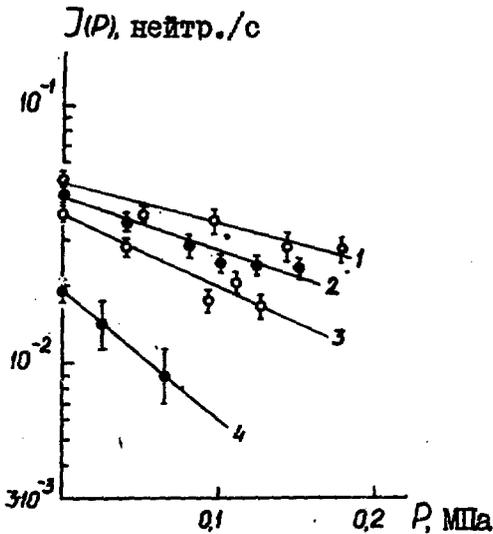


Рис.2. Зависимость $J(p)$ для обезгаженного радиатора: 1,2,3,4 - при температурах 800, 600, 300 и 125 К соответственно (зависимость 1 увеличена в 1,3 раза)

На рис. 3 показана зависимость потока $\Phi \propto \eta_n$ от температуры радиатора. В области $T < 300$ К величина η_n резко возрастает с повышением температуры. В области $T > 300$ К зависимость становится менее выраженной, приходясь по характеру к корневой.

На рис. 4 показана зависимость $\eta_{экс}$ от Φ , полученная для этого же радиатора в процессе очистки его поверхности. Экспериментальная точка I соответствует радиатору, отожженному при 700 К в течение 0,5 ч после травления и промывки. Точ-

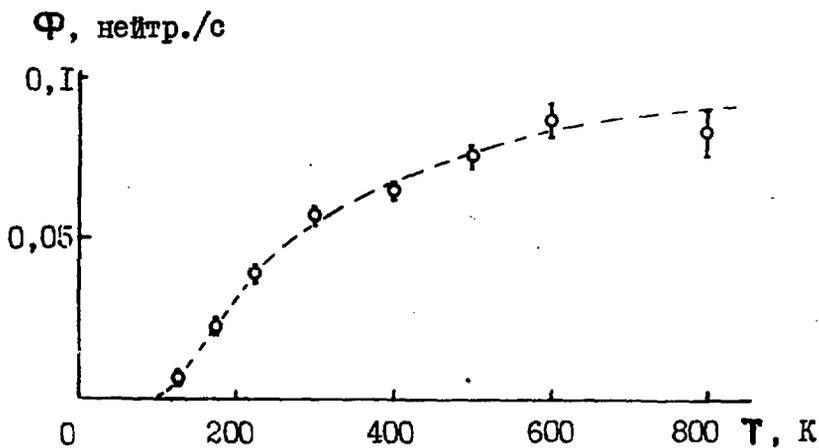


Рис.3. Зависимость потока нагретых УХН от температуры радиатора

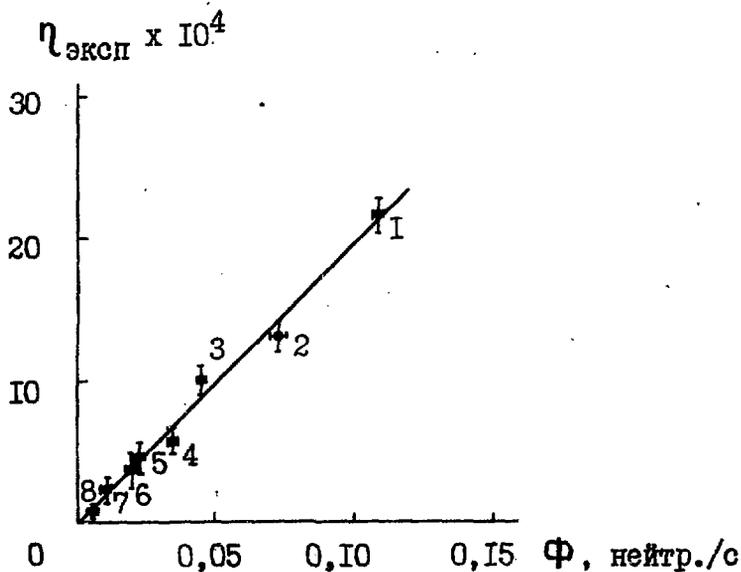


Рис.4. Зависимость параметра $\eta_{\text{эксп}}$ от Φ при 300 К в процессе очистки поверхности радиатора (точка 8 получена при 80 К)

ки 2,3 получены в результате отжига при 850 К в течение 0,5 и 1,5 ч соответственно. Далее идут точки 4,5, соответствующие отжигу радиатора при 900 К в течение 0,5 и 0,7 ч. Точки 6,7 получены в результате отжига радиатора при 950 и 1000 К в течение 1 и 0,5 ч. Достигнутые при этом значения $\eta_{\text{эксп}}$ составили $(3,7 \pm 0,85) 10^{-4}$ и $(2,2 \pm 0,5) 10^{-4}$.

На уровне очистки поверхности, соответствующем значению $\eta_{\text{эксп}} = (3,7 \pm 0,85) 10^{-4}$, радиатор был охлажден до 120 К, в результате чего значение $\eta_{\text{эксп}}$ уменьшилось до $(0,75 \pm 0,6) 10^{-4}$ (точка 8, рис.4). На этом же уровне очистки поверхности была предпринята попытка осуществить изотопное замещение водорода, предположительно находящегося на поверхности радиатора, дейтерием. Обработка поверхности парами D_2O (~20 гПа) в присутствии добавок кислот DNO_3 и D_2SO_4 при 800 К практически не повлияла на значение $\eta_{\text{эксп}}$, составившее после дейтерирования $(4,1 \pm 0,6) 10^{-4}$.

Подгонка методом наименьших квадратов линейной зависимости $\eta_{\text{эксп}}$ от Φ к полученным экспериментальным точкам дала следующие значения параметров:

$$\eta_{\text{эксп}} = (-0,25 \pm 0,40) 10^{-4} + (0,20 \pm 0,01) 10^{-4} \Phi \cdot \text{с/нейтр.},$$

откуда следует, что величина суммы $\eta + \eta_x$ не превышает ошибки экстраполяции ($0,4 \cdot 10^{-4}$). Поскольку $\eta = 5 \cdot 10^{-6}$, то $\eta_x < 0,4 \cdot 10^{-4}$, отсюда следует, что если и существуют отличные от нагрева процессы, ответственные за утечку УХН из бериллиевых сосудов, то эффективное сечение их не выше $(1-1,5) 10^{-24} \text{ см}^2$ (при экстраполяции в тепловую область).

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прямое исследование процесса взаимодействия УХН с поверхностью бериллия показало, что основной причиной утечки УХН из бериллиевых сосудов является нагрев нейтронов на поверхностных примесях стенок сосудов. Непосредственно после травления поверхности бериллия количество этих при-

месей может быть довольно большим и значение $\eta_{\text{эксп}}$ может достигать $(3-5) 10^{-3}$ при температуре 300 К. Нагрев УХН происходит при этом до энергии, составляющей в среднем 10-15 мэВ.

После обезгаживания бериллия при температуре 700-800 К значительная часть примесей десорбируется и значение $\eta_{\text{эксп}}$ понижается до $(0,8-1,0) 10^{-3}$. На этой стадии очистки поверхности нагрев УХН происходит до энергии ~ 25 мэВ. Вероятность этого процесса и энергия нагретых нейтронов заметно зависят от температуры.

При дальнейшем отжиге, когда температура выше 800 К, десорбция примесей идет значительно слабее. Обезгаживание при 1000 К даёт возможность уменьшить значение $\eta_{\text{эксп}}$ до $2 \cdot 10^{-4}$. Для дальнейшего подавления процесса нагрева УХН, по-видимому, необходим отжиг бериллия при температурах, близких к температуре его плавления (1500 К).

Полученные результаты позволяют предположить следующий механизм нагрева УХН при взаимодействии с поверхностью бериллия. До проведения отжига основной нагрев УХН происходит на физически адсорбированных, слабо связанных с поверхностью молекулах (в том числе водородосодержащих). После отжига нагрев УХН происходит главным образом на водороде, растворенном в приповерхностном слое металла. Из-за глубокого внедрения водорода в бериллии, по-видимому, процесс дейтерирования поверхности не приводит к обмену растворенного водорода с дейтерием.

Как следует из полученных результатов, средняя энергия нагретых УХН изменяется в температурном интервале 125 - 800 К от 0,01 до 0,6 мэВ. Такого изменения энергии можно ожидать, если характерные частоты колебаний атомов водорода близки к частотам оптических и акустических колебаний бериллия (температура Дебая для бериллия 1000 К, средняя по фоновому спектру энергия оптических и акустических колебаний ~ 60 мэВ). Характерный вид зависимости вероятности нагрева УХН от температуры, проявляющийся в ослаблении этой зависимости при $T > 300$ К, может быть обусловлен тем, что со-

держание водорода в приповерхностном слое уменьшается с повышением температуры. Если допустить, что при повышении температуры водород диффундирует из поверхностного слоя в объем бериллия, а с понижением снова возвращается к поверхности, то такая зависимость может наблюдаться.

С практической точки зрения полученные результаты доказывают возможность реализации сосудов для хранения УХН с теоретическим уровнем потерь. Если даже полная очистка поверхности сосудов от водородосодержащих примесей окажется технологически чрезвычайно трудной, то процесс нагрева УХН можно будет подавить глубоким охлаждением сосудов. Возможность ликвидации аномальных потерь УХН, которая казалась в последнее время весьма проблематичной, делает УХН перспективным средством исследования фундаментальных характеристик нейтрона. К этому можно добавить, что описанная в настоящей работе методика прямого исследования процесса взаимодействия УХН с поверхностью металлов может оказаться перспективной для контроля наличия водорода в приповерхностных слоях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыты с ультрахолодными нейтронами: Препринт ОИЯИ/ Грошев Л.В., Дворецкий В.Н., Демидов А.М. и др. - РЗ-5392.- Дубна, 1980.
2. Стрелков А.В., Хетцельт М. Наблюдение разогрева ультрахолодных нейтронов как причины аномального ограничения времени их хранения в замкнутых сосудах: Препринт ОИЯИ.- РЗ-10815.- Дубна, 1977.
3. Стойка А.Д., Стрелков А.В. Измерение энергетического спектра разогретых ультрахолодных нейтронов: Сообщение ОИЯИ.- РЗ-11593.- Дубна, 1978.
4. Bugeat J.P., Mame W. Reduction of Surface Hydrogen on Ultra Cold Neutron Container Materials by Ion Bombardement.- Z.Physik, 1979, В.35, p.273.

5. Игнатович В.К., Сатаров Л.М. Возможные причины аномальных потерь ультрахолодных нейтронов в ловушках: Препринт.- ИАЭ-2820.- М., 1977.
6. Блохинцев Д.И., Плакида Н.М. О нагревании ультрахолодных нейтронов: Сообщение ОИЯИ.- Р4-10381.- Дубна, 1977.
7. Получение, хранение и поляризация ультрахолодных нейтронов/ А.И.Егоров, В.М.Лобашов, В.А.Назаренко и др.- Ядерная физика, 1979, т.19, вып.2, с.300.
8. Некоторые эксперименты с ультрахолодными нейтронами: Препринт/ В.И.Лушиков, С.А.Николаев, Ю.Н.Панин и др.- ИАЭ-3066.- М., 1978.
9. Алфименков В.П., Стойка А.Д., Стрелков А.В. Исследование хранения ультрахолодных нейтронов в герметичных сосудах с обезгаженными стенками: Сообщение ОИЯИ.- Р3-80-761.- Дубна, 1980.
10. Наблюдение аномалии во времени хранения ультрахолодных нейтронов в герметичных сосудах с обезгаженными стенками: Препринт ОИЯИ/ Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир, В.И.Морозов и др.- Р3-80-91.- Дубна, 1980.
11. Игнатович В.К. Влияние приповерхностных кластеров на время хранения ультрахолодных нейтронов: Препринт ОИЯИ.- Р4-80-261.- Дубна, 1980.
12. Франк И.М. Поглощение и отражение ультрахолодных нейтронов: Сообщение ОИЯИ.- Р3-7810.- Дубна, 1974.
13. Игнатович В.К. Об одной возможности непрерывного перехода от волновой оптики к геометрической: Препринт ОИЯИ.- Е4-8039.- Дубна, 1974.
14. Дворецкий В.Н. Аномалии в спектрах ультрахолодных нейтронов: Препринт.- ИАЭ-2915.- М., 1976.
15. Игнатович В.К., Лушиков В.И. Аномалия в хранении ультрахолодных нейтронов и осцилляции нейтрона: Препринт ОИЯИ.- Р4-81-77.- Дубна, 1980.

16. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И. Эксперименты по хранению ультрахолодных нейтронов.- Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1979, т.77, вып.4(10), с.1277.
17. Применение ультрахолодных нейтронов для измерения времени жизни нейтрона/ Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир, В.И.Морозов, Г.И.Терехов.- Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики, 1978, т.31, вып.4, с.257.
18. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач.- М.: Наука, 1974.

Рукопись поступила в ОПИНТИ
07.04.82, обработана 06.10.82.
Окончательно подготовлена
авторами 27.06.83.

П.Д.Косвинцев, Д.А.Кушнир,
В.И.Морозов, Г.И.Терехов

НИИАР-36(601)
УДК 530.125.5

Исследование процесса взаимодействия ультрахолодных нейтронов
с поверхностью бериллия

Исследован процесс взаимодействия ультрахолодных нейтронов с поверхностью бериллия. Показано, что основной причиной аномальной утечки нейтронов из бериллиевых сосудов является их нагрев, который может эффективно подавляться охлаждением сосудов.

Препринт Научно-исследовательского института атомных реакторов
им. В.И.Ленина, Димитровград, 1983

Yu.Yu.Kosvintsev, Yu.A.Kushnir,
V.I.Morozov, G.I.Terekhov

RIAR-36(601)
UDC 530.125.5

Studies on Interaction of the Ultracold Neutrons
and Beryllium Surface

The process of the ultracold neutrons and beryllium surface interaction was investigated. It has been revealed that the main reason for anomalous leakage of neutrons out of the beryllium vessels is in the heating of the latter that can be effectively removed by cooling.

Preprint. Research Institute of Atomic Reactors named after
V.I. Lenin, Dimitrovgrad, 1983

Юрий Юрьевич Косвинцев
Юрий Алексеевич Кушнир
Василий Иванович Морозов
Григорий Иванович Терехов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ
НЕЙТРОНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ БЕРИЛЛИЯ

Научный редактор В.А.Куприенко

Редактор Ю.В.Волкова

Корректор Т.В.Левина

Подписано к печати 28.07.83. Т-17303. Формат 60x90 1/16.
Офсетная печать. Печ.л. 1,1. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 150 экз.
Индекс 3624. Заказ 1412. Цена 14 коп.

Отпечатано на ротационте НИИАРа, сентябрь 1983 г.
433510, Дмитровград-10, НИИАР

НАСТОЯЩЕЕ ИЗДАНИЕ НИИАРа

ЯВЛЯЕТСЯ самостоятельной, не всегда дублирующей в последствии в других изданиях ПУБЛИКАЦИЕЙ отдельных оригинальных научных трудов НИИАРа, на которую можно сослаться в других публикациях, указывая при этом авторов, наименование, порядковый номер (НИИАР-...), год и место издания (Дмитровград).

ИЗДАЕТСЯ с целью более быстрой или более полной информации по сериям:

1. Ядерные реакторы
2. Методика и техника облучения
3. Радиационное материаловедение
4. Радиохимия
5. Ядерная физика
6. Вычислительная техника и электроника
7. Вычислительная математика и программирование
8. Информатика и управление

ПЕЧАТАЕТСЯ на роталитте НИИАРа тиражом 150 экз.

РАССЫЛАЕТСЯ в научные организации, научно-технические библиотеки и отдельным лицам в соответствии с установленным порядком.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ
БЕРИЛЛИЯ**

Препринт, НИИАР-36(601), 1983, 1-16