

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



К-71

РЗ - 11594

4078/2-78

18/1к - 78

Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир, В.И.Морозов,  
А.Д.Стойка, А.В.Стрелков

ХРАНЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ  
НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В СОСУДАХ  
С НАПЫЛЯЕМЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СТЕНКАМИ

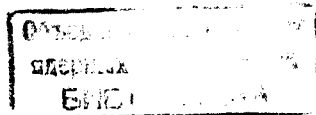
**1978**

РЗ - 11594

Ю.Ю.Косвинцев\*, Ю.А.Кушнир\*, В.И.Морозов\*,  
А.Д.Стойка, А.В.Стрелков

ХРАНЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ  
НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В СОСУДАХ  
С НАПЫЛЯЕМЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СТЕНКАМИ

*Направлено в "Письма в ЖЭТФ"*



\* Научно-исследовательский институт атомных реакторов им. В.И.Ленина, Димитровград.

Косвинцев Ю.Ю. и др.

P3 - 11594

Хранение ультрахолодных нейтронов низких энергий в сосудах с напыляемыми металлическими стенками

Описаны эксперименты по хранению УХН с энергией  $\sim 20$  нэВ в сосудах с напыляемыми металлическими стенками. Установлено, что сечение аномального нагрева УХН не зависит от материала стенок сосуда и составляет величину порядка  $10^6$ . Для сосуда с конденсированными стенками из бериллия зафиксировано максимально достигнутое время хранения УХН, равное  $\sim 650$  с.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Kosvintsev Yu.Yu. et al.

P3 - 11594

Storage of Low Energetic Ultracold Neutrons in Closed Vessels with Evaporated Metallic Walls

Low energetic ( $\sim 20$  meV) ultracold neutrons in closed vessels with evaporated metallic walls were investigated. Containment time ( $\sim 650$  s) obtained for Be walls is the highest as yet reported. Some phenomenologic aspects of UCN storage anomaly are also discussed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

В настоящее время установлено<sup>/6/</sup>, что аномальные потери ультрахолодных нейтронов /УХН/ в стенках удерживающих сосудов<sup>/1-5/</sup> объясняются нагревом УХН сразу до энергии, близкой к тепловой. Этот нагрев, возможно, связан с присутствием на поверхности стенок сосудов водородных атомов<sup>/7,11/</sup>.

1. В настоящей работе используется в качестве стенок сосуда для удержания УХН свежеприготовленный слой металла, напыляемого непосредственно перед хранением или во время хранения УХН. Использование низкоэнергетического спектра УХН  $\sim 20$  нэВ дало возможность расширить выбор материалов, обладающих сравнительно малой граничной скоростью ( $v_{гр}$ ), и позволило частоту столкновений УХН со стенками ( $\nu$ ) свести к минимально возможной в условиях земного тяготения для данных размеров сосуда.

2. Образовавшиеся в конверторе<sup>/1/</sup>, рис. 1, УХН с энергией  $50 \pm 190$  нэВ, поднимаясь в гравитационном поле по вертикальному участку нейтронновода, теряют часть своей кинетической энергии и заполняют цилиндрический сосуд<sup>/2/</sup> диаметром 57 см, высотой 32 см, расположенный на высоте 164 см. Спектр хранящихся нейтронов определялся путем измерения зависимости  $N$ -числа оставшихся в сосуде УХН /спустя 50 с после наполнения/ от высоты расположения над дном полиэтиленовой крышки - эффективного поглотителя УХН /рис. 1а, кривая I/. Оказалось, что спектр хорошо описывается гауссовским распределением со средней энергией 19 нэВ и дисперсией 6 нэВ /кривая II/. Наполнение сосуда, выдержка и вытекание  $\sim 10$  с /УХН в детектор<sup>/6/</sup> осуществляются с помощью заслонок<sup>/3,4,5/</sup>. Зависимость

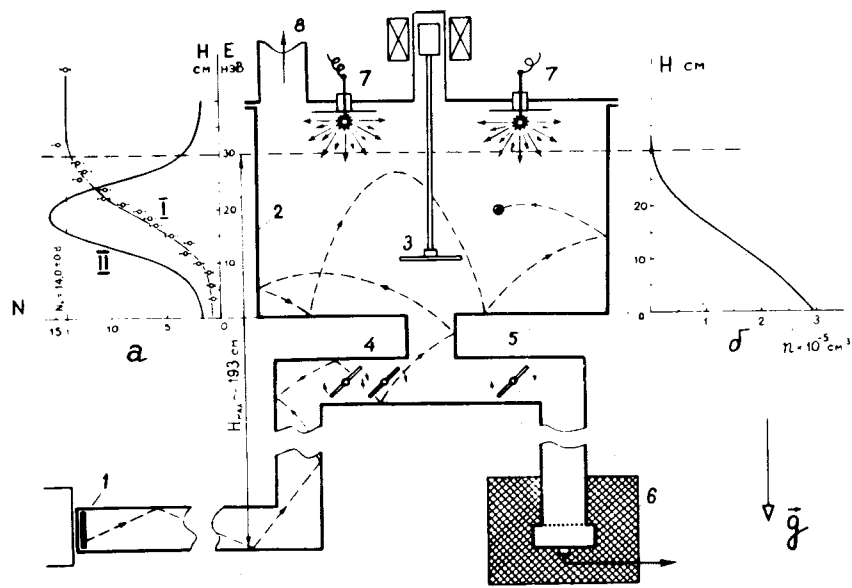


Рис. 1

числа оставшихся в сосуде УХН от времени выдержки хорошо описывается законом  $N = N_0 \exp(-t \cdot \tau_{ex}^{-1})$ , где  $\tau_{ex}$  - экспериментально наблюдаемое время хранения. Испарители металлов /7/ и откачное отверстие /8/ к диффузионному насосу расположены выше максимальной высоты, до которой могут подняться УХН, соответствующие верхней энергетической границе спектра.

3. Для алюминиевого сосуда, протравленного в NaOH и промытого дистиллированной водой,  $\tau_{ex} = 170 \pm 15$  с, а после последующего напыления на сосуд слоя Al толщиной  $\sim 0,5$  мкм  $\tau_{ex} = 230 \pm 14$  с. Измерения с напыленными слоями толщиной  $\sim 0,5$  мкм дали хорошо воспроизводимые значения  $\tau_{ex}$  /с/, которые составили для Zn:  $298 \pm 17$ ; Cu:  $338 \pm 9$ ; Pb:  $435 \pm 23$ ; Bi:  $439 \pm 17$ ; Be:  $645 \pm 25$ . После пребывания сосудов в течение двух суток в вакууме  $/-10^{-5}$  Тор/ заметного уменьшения  $\tau_{ex}$  не наблюдалось. При контакте с атмосферой в течение двух недель для Al  $\tau_{ex}$  уменьшилось до  $170 \pm 20$  с, для Bi даже

за одни сутки было замечено некоторое уменьшение  $\tau_{ex}$ , а для Cu за 1 неделю не наблюдалось изменения  $\tau_{ex}$ . В некоторых экспериментах УХН хранились в сосуде, на стенки которого одновременно испарением наносился Al. Напыляемый поток атомов Al "экранирует" постоянно конденсируемые примеси из остаточного вакуума, т.е. отражение УХН должно происходить от свежеприготовленного слоя Al. При вакууме  $10^{-6}$  Тор и скоростях конденсации  $3 \cdot 10^{-8}$  г·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> /А·с<sup>-1</sup>/ и  $10^{-6}$  г·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> /30 А·с<sup>-1</sup>/ не было замечено изменения  $\tau_{ex}$  при 8%- и 25%-ной точности измерений соответственно. Поэтому время загрязнения чистой поверхности достаточным количеством примесей, на которых в принципе могли бы нагреваться УХН, должно быть менее 0,1 с.

4. При хранении УХН происходят два независимых конкурирующих процесса, приводящих к потере УХН в сосуде:  $\tau_{ex}^{-1} = \tau_{\beta}^{-1} + \tau_{ie}^{-1}$ , где  $\tau_{\beta} = 940$  с - постоянная  $\beta$ -распада свободного нейтрона,  $\tau_{ie}$  - время удержания, обусловленное неупругими процессами взаимодействия УХН со стенкой /нагрев и захват/. Если средняя частота ударов УХН о стенки сосуда -  $\nu$ , а средний коэффициент потери при одном столкновении -  $\bar{\mu}$ , то  $\tau_{ie}^{-1} = \bar{\mu} \nu$ . С учетом гравитации /8/ получим:

$$\nu = \frac{\int (s) nv' ds}{4 \int (v) ndv}, \quad \bar{\mu} = \frac{\int (s) \mu(v') nv' ds}{\int (s) nv' ds}.$$

Здесь  $n$  - плотность нейтронного газа УХН /рис. 1б/, а  $v'$  - скорость УХН на соответствующей высоте. В нашем случае  $v \propto v_0^{-1} / v_0$  - скорость УХН на уровне дна сосуда/, для средней скорости УХН  $\nu \sim 6,3$  с<sup>-1</sup>, а  $\bar{\mu}$  зависит от конкретного рассматриваемого неупругого процесса. С учетом только известных сечений захвата и неупругого рассеяния на материале стенки расчетные значения времени удержания  $\tau_{th}$  в 4-100 раз превышают экспериментально полученные значения.

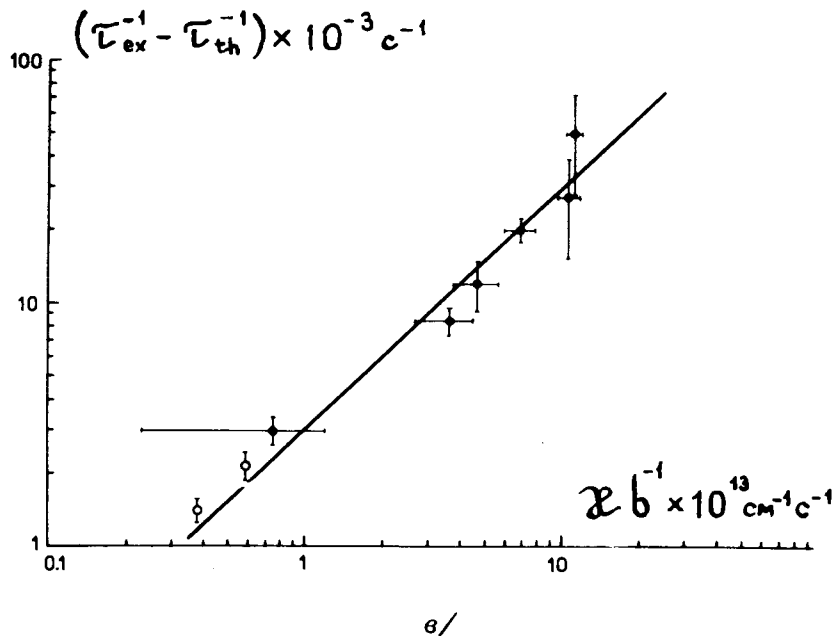
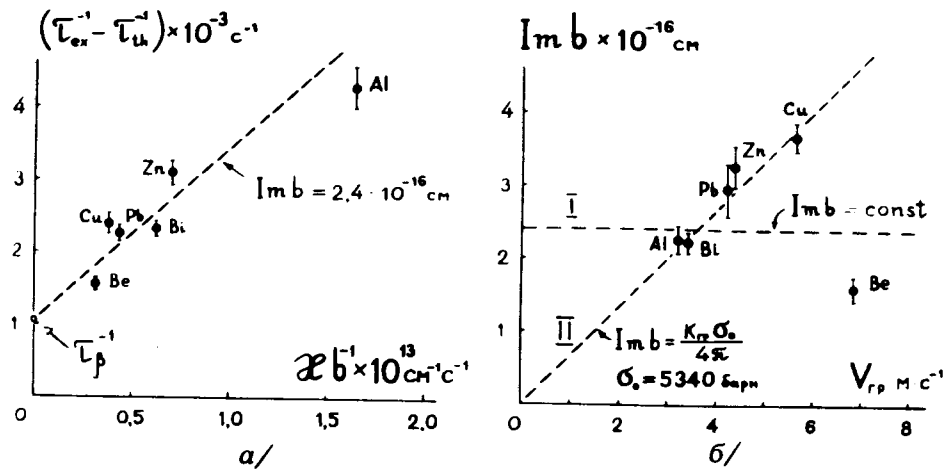


Рис. 2

5. Заметим, что при  $v_0 \ll v_{gr}$  для любого неупругого процесса в первом приближении  $\mu(v) \approx \frac{4}{3} \eta v \cdot v_{gr}^{-1}$ ,

где  $\eta$  - безразмерный коэффициент - равен согласно общепринятому обозначению:  $\eta = (Im b)_{eff} \cdot b^{-1/5}$ . Вводя геометрический фактор эксперимента  $\kappa$ , в нашем случае не зависящий в первом приближении от спектра УХН и механизма их утечки из сосуда, можно записать:  $\tau_{ie}^{-1} = \eta \kappa$ . На рис. 2а показана приближенно линейная зависимость  $\tau_{ex}^{-1} - \tau_{th}^{-1}$  от  $\kappa b^{-1}$ . Более детальная структура этой зависимости представлена на рис. 2б, где показана anomальная часть  $Im b_{eff}$  относительно  $v_{gr}$ . Можно рассмотреть две крайние возможности расположения мест anomальной утечки:

I/ в слое толщиной порядка глубины проникновения нейтрона в стенку, когда  $Im b = \frac{k\sigma(k)}{4\pi} / 11/$  и, следова-

тельно, дополнительное сечение составляет  $\sim 8$  барн в пересчете к энергии тепловых нейтронов;

II/ в слое толщиной много меньше глубины проникновения нейтрона, когда  $Im b \propto v_{gr}^{/9/}$  и можно использовать феноменологическое выражение  $Im b = \frac{k_{gr} \cdot \sigma_0}{4\pi} / 10/$ .

6. Полученное для Cu значение  $\eta = 6 \cdot 10^{-4}$  отличается от  $\eta = 3,7 \cdot 10^{-4}$  - результата работы /12/, единственно в которой были приведены параметры используемого спектра. Однако наше значение  $\sigma_0$  совпадает с  $\sigma_0$ , которое можно рассчитать на основе данных работы /12/ /рис. 3, кривая 4/.

На рис. 2в показана зависимость anomальной утечки УХН из медных сосудов от  $\kappa b^{-1}$ , причем  $\kappa$  рассчитывалось в предположении /5.11/. Черными точками показаны результаты, рассчитанные на основе работы /12/.

Авторы признательны академику И.М.Франку за дискуссию и советы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грошев Л.В. и др. ОИЯИ, РЗ-5392, Дубна, 1970; *Phys.Lett.*, 36B, 1971, 4, p. 293.
2. Егоров А.И. и др. *Ядерная физика*, 1974, 19, 2, с. 300.
3. Steyerl A., Trüstedt W.-*D.Z.Phys.* 1974, 267, p.379.
4. Kosvintsev Yu.Yu. et al. *Nucl. Instr. and Meth.* 1977, 143, p. 132.
5. Шапиро Ф.Л. ОИЯИ, РЗ-7135, Дубна, 1973;  
In: *Proc. Conf. on Nuclear Structure Study with Neutrons, Budapest, 1972, Plenum Press, New York/London, 1975, p. 259.*
6. Стрелков А.В., Хетцельт М. *ЖЭТФ*, 1978, 74, 1, с. 23.
7. Lanford W.A., Golub R. *Phys.Rev.Lett.*, 1977, 39(24) p. 1509.
8. Игнатович В.К., Терехов Г.И. ОИЯИ, Р4-9567, Дубна, 1976.
9. Игнатович В.К., Степанов А.В. ОИЯИ, Р4-7832, Дубна, 1974.
10. Франк И.М. ОИЯИ, РЗ-7810, Дубна, 1974.
11. Игнатович В.К., Сатаров Л.М. ИАЭ-2820, М., 1977.
12. Грошев Л.В. и др. ОИЯИ, РЗ-9534, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 мая 1978 года.