

ХРАНЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В СОСУДАХ С КОНДЕНСИРОВАННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СТЕНКАМИ

*Ю.Ю.Косвинцев¹⁾, Ю.А.Кушнир¹⁾, В.И.Морозов¹⁾,
А.Д.Стойка, А.В.Стрелков*

Приведены результаты измерений времени хранения УХН с энергией ~ 20 нэВ в сосудах с конденсированными металлическими стенками. Полученное время хранения для $Ve \sim 650$ сек является максимально достигнутым в настоящее время. Рассматривается феноменология процесса аномальной утечки УХН.

В настоящее время установлено [6], что аномальные потери УХН в стенках удерживающих сосудов [1 – 5] объясняются нагревом УХН сразу до энергии близкой к тепловой. Этот нагрев возможно связан с присутствием на поверхности стенок сосудов водородных атомов [7 – 11].

1. В настоящей работе используется в качестве стенок сосуда для удержания УХН свежеприготовленный слой напыляемого металла не-

¹⁾Научно-исследовательский институт атомных реакторов им. В.И.Ленина.

посредственно перед или во время хранения УХН в сосуде. Использование низкоэнергетического спектра УХН (~ 20 нэВ) дало возможность расширить выбор материалов, обладающих сравнительно малой граничной скоростью ($v_{гр}$) и позволило частоту столкновений УХН со стенками (ν) свести к минимально возможной в условиях земного тяготения для данных размеров сосуда.

2. Образовавшиеся в конверторе (1) (рис. 1) УХН с энергией 50 ± 190 нэВ, поднимаясь в гравитационном поле по вертикальному участку нейтроновода, теряют часть своей кинетической энергии и заполняют цилиндрический сосуд (2) диаметром 57 см высотой 32 см, расположенный на высоте 164 см. Спектр хранящихся нейтронов определялся путем измерения зависимости N -числа оставшихся УХН в сосуде (спустя 50 сек после наполнения) от высоты расположения над дном сосуда полиэтиленовой крышки — эффективного поглотителя УХН (рис. 1, а, 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 (~ 10 сек) УХН в детектор (6) осуществляется с помощью заслонок (3, 4, 5).

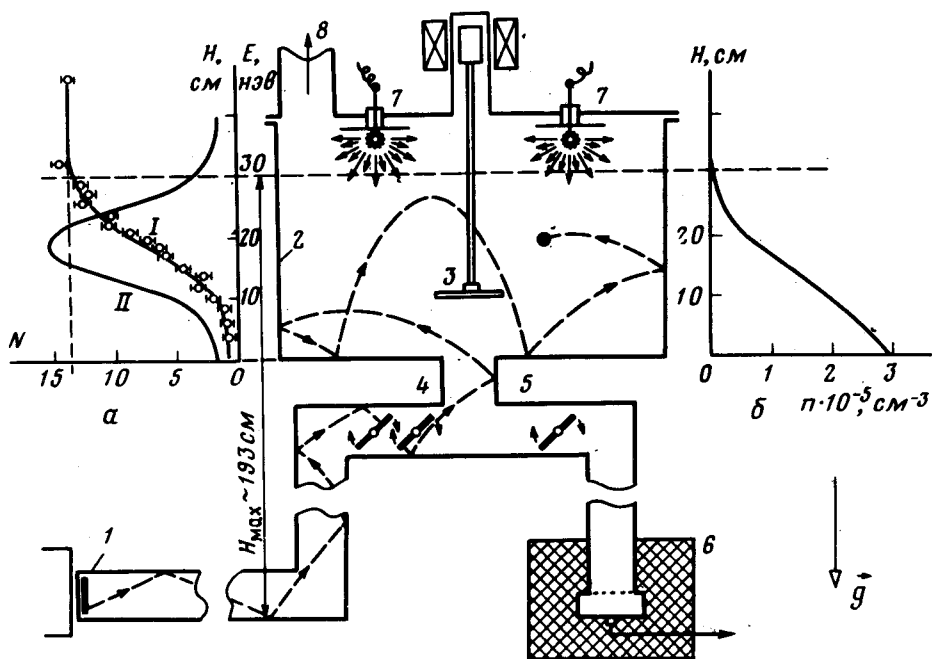


Рис. 1

Зависимость числа оставшихся УХН в сосуде от времени выдержки t хорошо описывается законом $N = N_0 \exp(-t \tau_{ex}^{-1})$ где τ_{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 растворе Na OH и промытого дистиллированной водой $\tau_{ex} = 170 \pm 15$ сек, а после последующего напыления на него $\sim 0,5$ мкм Al $\tau_{ex} = 230 \pm 14$ сек. Изменения с напыленными слоями толщиной $\sim 0,5$ мкм показали хорошо воспроизводимые значения τ_{ex} (сек), которое составило для: Zn 298 ± 17 ; Cu 338 ± 9 ; Pb 435 ± 23 ; Bi 439 ± 17 ; Be 645 ± 25 . После пребывания в течение двух суток в вакууме ($\sim 10^{-6}$ тор) сосуда не показали заметного уменьшения τ_{ex} . При контакте с атмосферой в течение двух недель для Al τ_{ex} уменьшилось до 170 ± 20 сек, для Bi даже за одни сутки было замечено некоторое уменьшение τ_{ex} , а для Cu за одну неделю не наблюдалось изменения τ_{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, таким образом отражение УХН должно происходить от свежеприготовленного слоя Al . При вакууме $\sim 10^{-6}$ тор и скоростях конденсации $3 \cdot 10^{-8} \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ ($1 \text{ А} \cdot \text{сек}^{-1}$) и $10^{-6} \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ ($30 \text{ А} \cdot \text{сек}^{-1}$) не было замечено изменения τ_{ex} с точностью 8 и 25%, соответственно. Поэтому, время загрязнения чистой поверхности достаточным количеством примесей, на которых, в принципе, могли бы нагреваться УХН, должно быть менее 0,1 сек.

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

$$\nu = \frac{\int_{(s)} n v^* ds}{4 \int_{(v)} n dv}, \text{ а } \bar{\mu} = \frac{\int_{(s)} \mu(v^*) n v^* ds}{\int_{(s)} n v^* ds},$$

где n — плотность нейтронного газа УХН (рис. 1, б), а v^* — скорость УХН на соответствующей высоте. В нашем случае $\nu \approx \nu_0^{-1}$ (ν_0 — скорость УХН на уровне дна сосуда), для средней скорости спектра $\nu \sim 6,3 \text{ сек}^{-1}$. $\bar{\mu}$ зависит от конкретного рассматриваемого неупругого процесса. С учетом только известных сечений захвата и неупругого рассеяния на материале стенки расчетные значения времени удержания — τ_{th} — в $4 \div 100$ раз превышают экспериментально полученные значения.

5. Заметим, что при $v_0 \ll v_{\text{гп}}$ для любого неупругого процесса в первом приближении $\mu(v) \approx 4/3 \eta v v_{\text{гп}}^{-1}$, где η — безразмерный коэффициент равен, согласно общепринятому обозначению, $\eta = \text{Im} b_{eff} b^{-1}$ [5]. Вводя геометрический фактор эксперимента κ , в нашем случае независимый в первом приближении от спектра УХН и механизма их утечки из сосуда, можно записать: $\tau_{ie}^{-1} = \eta \kappa$. На рис. 2, а показана приближенно линейная зависимость $\tau_{ex}^{-1} - \tau_{th}^{-1}$ от κb^{-1} . Более детальная структура этой зависимости представлена на рис. 2, б, где показана

аномальная часть $\text{Im } b_{\text{eff}}$ относительно $v_{\text{гр}}$. Можно рассмотреть две крайние возможности расположения мест аномальной утечки:

I) в слое толщиной порядка глубины проникновения нейтрона в стенку, когда $\text{Im } b = \frac{k \sigma(k)}{4 \pi}$ [11], и, следовательно, дополнительное сечение

составляет ~ 8 бн в пересчете к энергии тепловых нейтронов;

II) в слое с толщиной много меньшей глубины проникновения нейтрона, когда $\text{Im } b \propto v_{\text{гр}}$ [9] и можно использовать феноменологическое выражение: $\text{Im } b = \frac{k_{\text{гр}} \sigma_0}{4 \pi}$ [10].

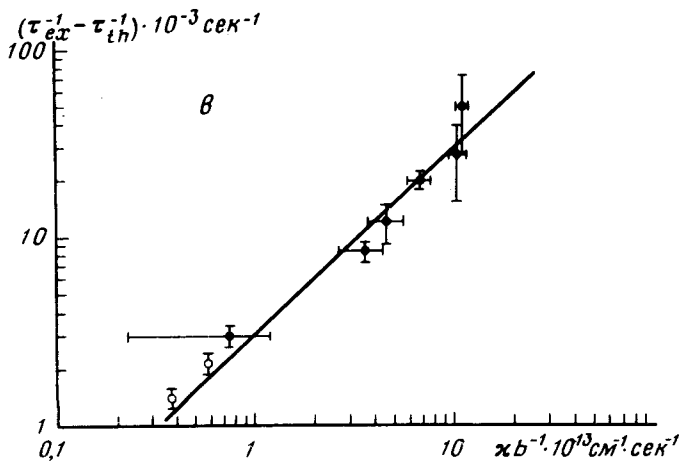
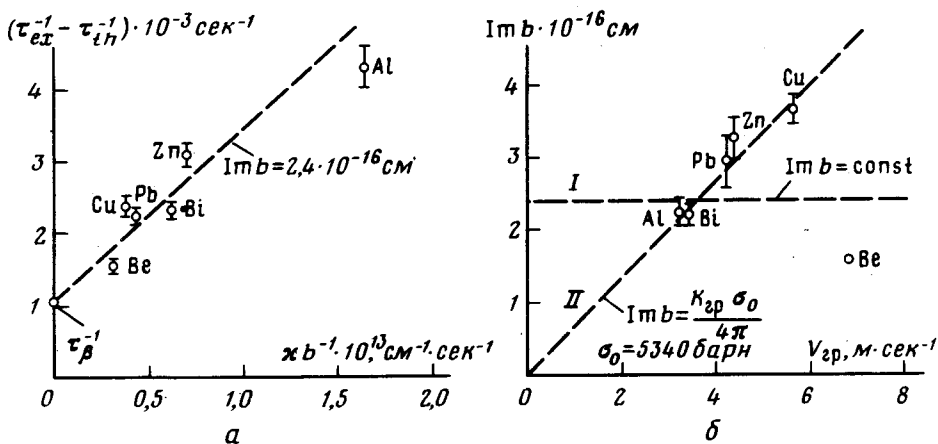


Рис. 2

6. Полученное для Cu значение $\eta = 6 \cdot 10^{-4}$ отличается от $\eta = 3,7 \times 10^{-4}$ — результата работы [12], единственно в которой спектр хранящихся нейтронов был хорошо известен. Однако наше значение σ_0 совпадает с σ_0 , которое можно рассчитать из данных работы [12] (рис. 2, в).

На рис. 2, в показана зависимость аномальной утечки УХН из медных сосудов от κb^{-1} , причем κ рассчитывалось в предположении (5. II).

Черными точками показаны результаты, рассчитанные из данных работы [12].

Авторы признательны академику И.М. Франку за обсуждения и дискуссии.

Объединенный
институт ядерных исследований

Поступила в редакцию
8 июня 1978 г.

Литература

- [1] Л.В.Грошев, В.Н.Дворецкий, А.М.Демидов, В.И.Лушиков, Ю.Н.Панин, Ю.Н.Покотилловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро. ОИЯИ, РЗ-5392, Дубна, 1070; Phys. Lett., **36B**, 293, 1971.
- [2] А.И.Егоров, В.М.Лобашов, В.А.Назаренко, Г.Д.Порсев, А.П.Серебров. ЯФ, **19**, 300, 1974.
- [3] A.Steyerl, W.-D.Trüstedt. Z.Phys., **267**, 379, 1974.
- [4] Yu.Yu.Kosvintsev, E.N.Kulagin, Yu.A.Kuschnir, V.I.Morozov, A.V.Strelkov. Nucl. Instr. and Meth., **143**, 132, 1977.
- [5] Ф.Л.Шапиро. ОИЯИ, РЗ-7135, Дубна, 1973; Conf. on Nuclear Structure Study with Neutrons, Budapest, 1972; Plenum Press. New York/London, 1975, p. 259.
- [6] А.В.Стрелков, М.Хетцельт. ЖЭТФ, **74**, 23, 1978.
- [7] W.A.Lanford, R.Golub. Phys. Rev. Lett., **39**, 1509, 1977.
- [8] В.К.Игнатович, Г.И.Терехов. ОИЯИ, Р4-9567, Дубна, 1976.
- [9] В.К.Игнатович, А.В.Степанов. ОИЯИ, Р4-7832, Дубна, 1974.
- [10] И.М.Франк. ОИЯИ, РЗ-7810, Дубна, 1974.
- [11] В.К.Игнатович, Л.М.Сагаров. ИАЗ-2820, М., 1977.
- [12] Л.В.Грошев, В.И.Лушиков, С.А.Николаев, Ю.Н.Панин, Ю.Н.Покотилловский, А.В.Стрелков. ОИЯИ, РЗ-9534, Дубна, 1976.