

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕЙТРОНА МЕТОДОМ ХРАНЕНИЯ УХН

Ю.Ю. Косвинцев, В.И. Морозов, Г.И. Терехов

Методом хранения УХН в охлажденном герметичном сосуде из алюминия измерено время жизни нейтрона. Полученный результат составил 903 ± 13 с. Приведены предварительные данные по измерению времени жизни нейтрона при хранении УХН в сосуде со стенками из льда тяжелой воды.

В настоящей работе приведены результаты измерений времени τ_{β} жизни нейтрона методом хранения УХН в сосуде, охлажденном до 80 К. Специальная очистка поверхности сосуда в сочетании с его охлаждением позволила понизить потери УХН при ударах о стенки до $\sim 20\%$ от величины полных потерь. Это дало возможность провести измерения τ_{β} с относительной погрешностью 1,4%, что не является пределом метода.

Нейтронный газ накапливался и хранился в алюминиевом цилиндрическом сосуде диаметром 105 см и высотой 75 см (рис. 1). Охлаждение сосуда до 80 К и нагрев до 750 К осуществлялись с помощью змеевиков жидкого азота и нагревательных спиралей. Через входную заслонку сосуд наполнялся нейтронами от установки УХН реактора СМ-2¹. Далее УХН по вертикальному каналу через алюминиевую мембрану и отверстие в дне проходили в сосуд, где запирались тарелочной заслонкой. Высота подъема сосуда относительно транспортного нейтронвода была подобрана так, что УХН, накапливавшиеся в сосуде поднимались над его дном не выше $H_{\text{макс}} = 48$ см. Регистрация УХН, сохранившихся в сосуде, осуществлялась газовым пропорциональным детектором на основе He³.

В верхней части сосуда, недостаточной для УХН, на алюминиевых нитях были подвешены 4 пакета из плоских алюминиевых пластин с зазором между пластинами – 1 см. Спуск и подъем пакетов, использовавшихся для изменения частоты соударений УХН, проводился с помощью подвижных соленоидов. Соленоиды захватывали стальные сердечники, к которым были прикреплены нити подвески пакетов.

Сосуд УХН представлял собой герметичный узел, помещенный в вакуумный силовой кожух. Кожух и сосуд имели автономные системы откачки. Вакуум в кожухе поддерживался на уровне $\sim 10^{-5}$ торр. Сосуд УХН откачивался насосом НОРД-250 до $\sim 10^{-6}$ торр, после чего герметично закрывался.

При хранении УХН, имеющих у дна сосуда ($z = 0$) скорость v_0 , вероятность потерь за счет соударений со стенками

$$\lambda_{\text{п}} = \eta \gamma(v_0) = \frac{\eta \int_{(s)} v_{\text{гп}}^2 \left(\arcsin \sqrt{\frac{v_0^2 - 2gz}{v_{\text{гп}}^2}} - \sqrt{\frac{(v_0^2 - 2gz)(v_{\text{гп}}^2 - v_0^2 + 2gz)}{v_{\text{гп}}^4}} \right) ds}{2 \int_{(\Omega)} \sqrt{v_0^2 - 2gz} d\Omega}, \quad (1)$$

где η – отношение мнимой части потенциала взаимодействия УХН со стенкой к действительной², $v_{\text{гп}}$ – граничная скорость для алюминия, s – поверхность сосуда и пластин, по-

падающих в объем хранения Ω , z — высота над дном, $\gamma(v_0)$ — геометрический фактор эксперимента. Если сосуд наполняется УХН с широким спектром скоростей, то :

$$\lambda_{II} = \eta \gamma(t) = \frac{\eta \int_0^{v_{\max}} f(v_0) \gamma(v_0) \exp[-\eta \gamma(v_0)t] dv_0}{\int_0^{v_{\max}} f(v_0) \exp[-\eta \gamma(v_0)t] dv_0}, \quad (2)$$

где $f(v_0)$ — спектр УХН в сосуде в начальный момент хранения, v_{\max} — верхняя граница спектра.

В этом случае зависимость числа УХН в сосуде от времени может быть описана полной вероятностью потерь $\lambda = (1/\tau_\beta) + \eta \bar{\gamma}$, где $\bar{\gamma}$ определяется усреднением $\gamma(t)$ на интервале от 0 до t_{\max} (максимальное время выдержки нейтронов в сосуде). Если в эксперименте контролируемым образом изменить величину $\bar{\gamma}$, то измерив зависимость λ от $\bar{\gamma}$, значение $\lambda_p = 1/\tau_\beta$ можно определить экстраполируя γ к нулю.

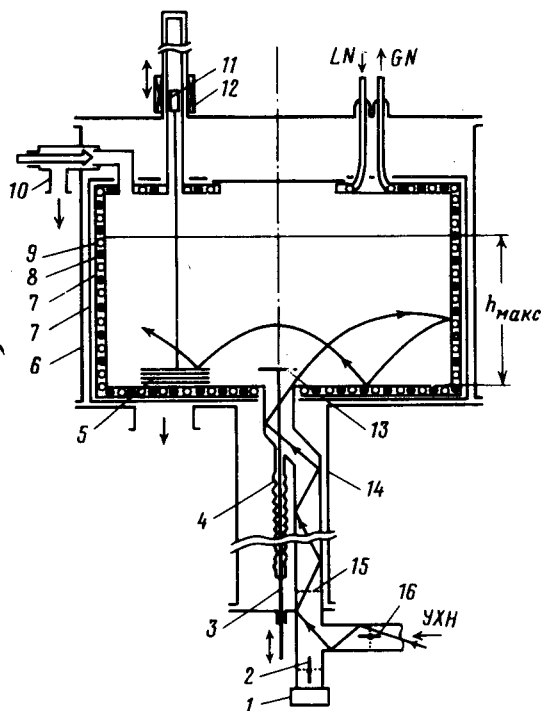


Рис. 1. Схема установки (1 — детектор УХН, 2 — заслонка детектора, 3 — шток тарелочной заслонки, 4 — сильфонный узел, 5 — пакет пластин, 6 — вакуумный кожух, 7 — тепловые экраны, 8 — нагреватель, 9 — змеевик жидкого азота, 10 — герметичный клапан откачки сосуда, 11 — сердечник, 12 — солеинд, 13 — тарелочная заслонка, 14 — нижний цилиндр кожуха, 15 — алюминиевая мембрана, 16 — входная заслонка УХН)

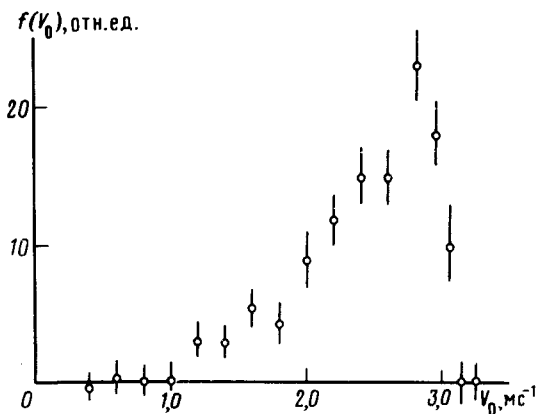


Рис. 2. Спектр УХН, накапливаемых в сосуде

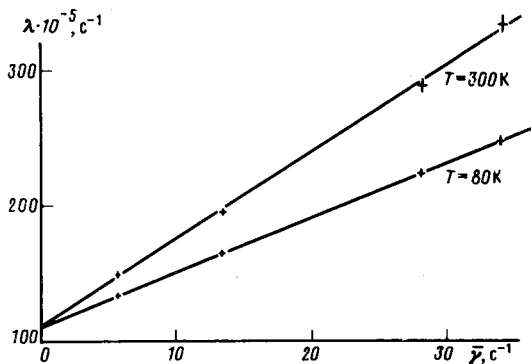


Рис. 3. Зависимость полной вероятности λ потерь УХН от величины фактора $\bar{\gamma}$ при различных температурах сосуда

Спектр УХН, накапливаемых в сосуде, был определен методом погружающегося в нейтральный газ поглотителя ³ и показан на рис. 2. Перед началом измерений внутренняя поверхность сосуда и пластин обрабатывались идентичным образом. Процедура обработки включала травление в NaOH, промывку дистиллированной водой, прогрев в вакууме и

отжиг в атмосфере кислорода при 750 К. По окончании обработки сосуд откачивался и герметично запырался вплоть до завершения цикла измерений. На рис. 3 приведены зависимости λ от γ при температуре стенок и пластин 80 и 300 К. Полученные зависимости являются результатом четырех циклов измерений в каждом из которых процедура обработки поверхности повторялась. Расчет значений γ проводился для $v_{гр} = 3,2$ м/с. В результате экстраполяции γ к нулю, проведенной МНК, для сосуда при 300 К величина $\lambda_p = (111,8 \pm 3,8) \cdot 10^{-5}$, а $\eta = (6,42 \pm 0,20) \cdot 10^{-5}$. При 80 К эти же величины составили $\lambda_p = (111,24 \pm 1,46) \cdot 10^{-5}$, $\eta = (4,08 \pm 0,15) \cdot 10^{-5}$. Погрешности приведенных результатов λ_p обусловлены только статистическим разбросом числа УХН в сосуде и случайными отклонениями величины параметра η от его среднего значения. Для получения окончательного результата было использовано значение λ_p , измеренное при 80 К. С этой целью были учтены методические погрешности в определении λ_p , обусловленные:

- а) заменой функции $\gamma(t)$ усредненным значением $\bar{\gamma} (\Delta\lambda_p / \lambda_p = 0,2\%)$;
- б) возможными отклонениями $v_{гр}$ от 3,2 м/с (алюминий) до 5,2 м/с (Al_2O_3) и соответствующими изменениями расчетных значений $\bar{\gamma} (\Delta\lambda_p / \lambda_p = 0,1\%)$;
- в) экспериментальной погрешностью определения $f(v_0)$ и связанной с этим погрешностью расчета $\bar{\gamma} (\Delta\lambda_p / \lambda_p = 0,2\%)$;
- г) оттоком УХН из сосуда в подзаслоночную щель ($\Delta\lambda_p / \lambda_p = (-0,4 \pm 0,4)\%$);
- д) нагревом и захватом УХН на остаточном газе в сосуде хранения ($\Delta\lambda_p / \lambda_p = (-0,05 \pm 0,04)\%$).

С учетом методических погрешностей величина $\lambda_p = (110,75 \pm 1,55) \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, что соответствует $\tau_\beta = 903 \pm 13$ с или периоду полураспада $T_{1/2} = 626 \pm 9$ с. Полученный результат по точности находится на уровне лучших результатов, достигнутых традиционными методами измерения⁴⁻⁶. Дальнейшее улучшение точности лежит на пути уменьшения статистической погрешности измерений и использования "чистых" сосудов УХН⁷. В настоящее время на этой же установке ведутся измерения τ_β методом хранения УХН в сосуде, на стенке которого при 80 К сконденсирован слой льда D_2O . По предварительным результатам потери УХН в стенках сосуда составляют $3 \div 4\%$ от полных потерь. Набранная к настоящему времени статистика позволяет оценить величину $\tau_\beta = 892 \pm 20$ с. Дальнейшее увеличение статистической точности может позволить довести погрешность измерения τ_β до 1% и лучше.

Авторы благодарны О.И.Иванову за определение методом активационного анализа состава и количества примесей в алюминии, использовавшемся для изготовления сосуда и пластин. Авторы признательны В.И.Лушикову, А.В.Стрелкову и Ю.Н.Покотиловскому за помощь в создании установки и проведении измерений.

Литература

1. Косвинцев Ю.Ю., Морозов В.И., Терехов Г.И. Препринт НИИАР – 14 (660). М. ЦНИИАтоминформ, 1985.
2. Шапиро Ф.Л. Сообщение ОИЯИ. РЗ-7135, Дубна, 1973.
3. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И. и др. Сообщение ОИЯИ. РЗ-11594, Дубна, 1978.
4. Бондаренко Л.Н., Кургузов В.В., Прокофьев Ю.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, 329.
5. Christensen C.J., Nielsen A., Bahnsen A. et al. Phys. Rev., 1972, 5D, 1628.
6. Byrne J., Morse J., Smith K.J. et al. Phys. Lett., 1980, 92B, 274.
7. Косвинцев Ю.Ю., Морозов В.И., Терехов Г.И. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 425.

Поступила в редакцию
18 октября 1986 г.