

ХРАНЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ В СОСУДЕ ДО β -РАСПАДА

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

Охлаждением герметичного алюминиевого сосуда до 80К вероятность потерь УХН понижена до уровня близкого к теоретическому. Доказано, что дополнительные потери УХН в алюминиевых сосудах обусловлены нагревом УХН, вероятность которого резко зависит от температуры. Намораживанием тяжелого льда на поверхность алюминиевого сосуда создан „чистый” сосуд с временем хранения УХН равным времени жизни их до β -распада.

В работе ¹ было показано, что для сосудов из алюминия дополнительная утечка ультрахолодных нейтронов (УХН) может эффективно подавляться прогревом сосудов в вакууме

или атмосфере кислорода до уровня в четыре — пять раз превышающего теоретический. Очисткой поверхности газовым разрядом вероятность потерь УХН в алюминиевом сосуде удалось понизить до величины, отличающейся от теоретической в два раза ². Вероятность остающейся дополнительной утечки УХН заметно зависит от температуры стенок сосуда в интервале 300 — 800К ³.

Совокупность этих фактов указывает на то, что наиболее вероятной причиной утечки УХН является нагрев на водороде, содержащемся на поверхности и приповерхностном слое стенок. Если эта гипотеза верна, то вероятность нагрева УХН должна резко уменьшаться при охлаждении сосудов. Понижение вероятности нагрева должно также происходить при намораживании на стенки охлажденного сосуда веществ с большой граничной скоростью и малыми сечениями неупругих процессов (например, тяжелой воды) ⁴⁻⁶.

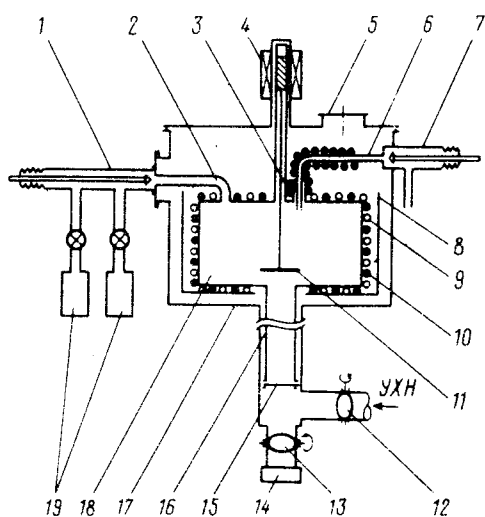


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1, 7 — краны; 2 — патрубок; 3, 9 — нагреватели; 4 — соленоид; 5 — патрубок откачки; 6 — трубка; 8 — экран; 10 — трубки охлаждения; 11, 12, 13 — заслонки; 14 — детектор УХН; 15 — алюминиевая фольга; 16 — нейтроновод; 17 — вакуумный кожух; 18 — сосуд хранения; 19 — вакуумные насосы

Для проверки перечисленных возможностей подавления канала дополнительной утечки УХН была использована установка, схема которой приведена на рис. 1. Хранение УХН осуществлялось в герметичном алюминиевом сосуде 18, диаметром 52 см и высотой 28 см. Сосуд был помещен в вакуумный кожух 17, который откачивался диффузионным насосом до $\sim 10^{-4}$ тор через патрубок 5. На внешней поверхности сосуда расположены электрические спирали 9 и трубки 10 охлаждения жидким азотом. Наполнение сосуда нейтронами производилось по нейтроноводу 16, изготовленному из нержавеющей стали. В нейтроновод УХН поступали через заслонку 12 и алюминиевую мембрану 15, расположенную в нижнем торце нейтроновода. Запирание УХН в сосуде осуществлялось тарелочной заслонкой 11, управлявшейся соленоидом 4. Регистрация УХН, сохранившихся в объеме сосуда, производилась газовым пропорциональным детектором 14.

Сосуд хранения откачивался адсорбционным и магнито-разрядным насосом до 10^{-6} тор через патрубок 2, герметично закрывавшимся краном 1. Для введения в объем сосуда паров тяжелой воды была предназначена трубка 6 с нагревателем 3. После введения паров в объем трубка герметично закрывалась краном 7.

Полная вероятность утечки УХН из сосуда выражается как:

$$\lambda = \lambda_p + \lambda_T + \lambda_d,$$

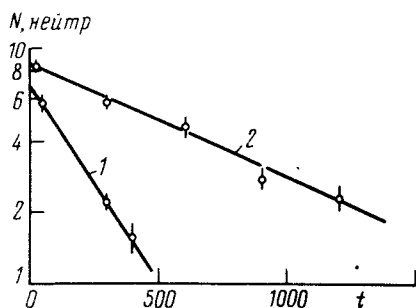


Рис. 2. Зависимость числа нейтронов, сохранившихся в сосуде, от времени: 1 — в алюминиевом сосуде при 300К после травления; 2 — в алюминиевом сосуде, прошедшем кислородную обработку с намерзшими стенками из тяжелой льды

где $\lambda_p = \tau_p^{-1}$, $\tau_p = 877$ с – время жизни нейтрона до β -распада⁷, $\lambda_T = \left(\eta g/v_{гр}\right) \left[1 + \left(0,3 + 0,4 \frac{v_{гр}^2}{Rg}\right) \left(\frac{v}{v_{гр}}\right)^2\right]$ – теоретическая вероятность потерь за счет неупругих процессов,
 $\eta = \frac{K(\sigma_a + \sigma_{ну})}{4\pi b_{ког}}$, K – волновое число, σ_a – сечение захвата, $\sigma_{ну}$ – сечение неупругого рас-

сеяния, $b_{ког}$ – длина когерентного рассеяния, R – радиус сосуда, g – ускорение свободного падения, $v_{гр} = 3,2$ м/с – граничная скорость алюминия, v – скорость УХН у дна сосуда, λ_a – вероятность дополнительной утечки УХН.

Высота подъема сосуда относительно транспортного нейтронотода была подобрана так, что средняя скорость УХН у дна сосуда составляла 2 м/с. Значения параметра η для алюминия при температуре 300 и 80 К составляют соответственно $0,21 \cdot 10^{-4}$ и $0,14 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, при полном подавлении канала дополнительной утечки УХН, полная вероятность потерь λ должна составлять $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ и $1,22 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ при температурах 300 и 80 К, а соответствующие времена хранения 790 и 820 с.

После травления сосуда в NaOH время хранения УХН составило 460 ± 30 с при 300 К. Определение времени хранения производилось с учетом вытекания УХН через щель в тарелочной заслонке, определявшегося экспериментально. При охлаждении сосуда до 80 К время хранения возросло до 790 ± 100 с, что соответствует $\lambda = (1,26 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Полученное значение λ в пределах ошибки совпадает с $\lambda = \lambda_p + \lambda_T = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Это свидетельствует о резком уменьшении λ_a с понижением температуры сосуда.

С целью уменьшения количества водородосодержащих примесей на поверхности сосуда, сосуд был прогрет в течение трех часов при 750 К. При этом через сосуд непрерывно прокачивался кислород под давлением $\sim 0,1$ тор. После проведения этой процедуры время хранения УХН при 300 К составило 670 ± 60 с, а величина $\lambda = (1,49 \pm 0,14) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Охлаждение отожженного сосуда до 80 К привело к увеличению времени хранения до 840 ± 100 с, что соответствует $\lambda = (1,18 \pm 0,14) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Таким образом, в результате охлаждения как химически протравленного, так и отожженного в кислороде сосуда достигнута вероятность λ потерь УХН по величине равная теоретической. Используя в качестве критерия ошибку определения λ можно утверждать, что, если дополнительный канал утечки после охлаждения сосуда и остался, то вероятность его $\lambda_a < \lambda_T$.

Если причиной дополнительной утечки УХН из алюминиевых сосудов является нагрев их на приповерхностном водороде, то при намораживании тяжелой воды на поверхность сосуда, водород должен экранироваться слоем тяжелого льда. В образованном таким образом сосуде со стенками из тяжелого льда вероятность потерь $\lambda_T = 6 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ при 80 К, т. е. время хранения УХН должно практически совпадать с временем жизни нейтрона. С целью проверки этой возможности, на поверхность сосуда был заморожен слой тяжелого льда толщиной ~ 2000 Å. До проведения намораживания время хранения УХН в сосуде (после травления его в NaOH) при 300 К составило 250 с (рис. 2, кривая 1). После намораживания льда время хранения возросло до 890 ± 90 с. При отогревании сосуда до 300 К время хранения вернулось к 250 с. Намораживание льда осуществлялось и на поверхность сосуда, прошедшего отжиг в кислороде. Полученное значение времени хранения составило 950 ± 60 с (рис. 2, кривая 2).

Результат эксперимента свидетельствует о том, что в результате намораживания тяжелого льда поверхностные примеси оказались заэкранированными. Отсутствие эффекта намораживания, наблюдавшееся в работах⁴⁻⁶, по-видимому, связано с тем, что замороженный слой тяжелой воды имеет низкую граничную энергию из-за своей „рыхлости“, и условие полного отражения от него выполняется только для УХН малых скоростей, использовавшихся в настоящей работе.

В целом результаты проведенной работы окончательно доказывают, что основной причиной дополнительной утечки УХН из алюминиевых сосудов является нагрев УХН, вероятно

которого резко зависит от температуры. При охлаждении сосуда до 80 К полная вероятность потерь снижается до уровня, предсказываемого теорией. Проведенный эксперимент по хранению УХН в „чистом” сосуде со стенками из тяжелого льда показал принципиальную возможность хранения нейтронов до их β -распада, что снова открывает, казавшиеся в последнее время проблематичными, возможности применения УХН в ряде фундаментальных экспериментов.

Литература

1. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И., Терехов Г.И. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 257.
2. Matre W., Ageron P., Gaehier R.Z. Phys., В, 1981, 45, 1.
3. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И. ЖЭТФ, 1979, 77, 1277.
4. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И. и др. Препринт ОИЯИ, РЗ-80-91, Дубна, 1980.
5. Алфименков В.П., Стойка А.Д., Стрелков А.В. Сообщение ОИЯИ, РЗ-80-761, Дубна, 1980.
6. Акунец А.А., Антонов А.В., Галкин О.Ф. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, 1982, 1, 25.
7. Бондаренко Л.Н., Кургузов В.В., Прокопьев Ю.А., Рогов Е.В., Спивак П.Е. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, 329.

Поступила в редакцию

17 августа 1982 г.