

ОПЫТЫ ПО ХРАНЕНИЮ УХН В ЛОВУШКЕ
ИЗ ТЯЖЕЛОВОДНОГО ЛЬДА

А. А. Акунец, А. В. Антонов, О. Ф. Галкин, А. И. Исаков,
Н. В. Линькова, В. И. Микеров, В. А. Тукарев

УДК 539.125.5

Описаны эксперименты по хранению УХН в медной ловушке, на стенки которой непрерывно намораживался тяжеловодный лед. Показано, что теоретически рассчитанное увеличение времени жизни нейтронов не наблюдается.

Как известно, прогресс в решении целого ряда задач физики УХН связан с выяснением причин наблюдаемого аномально малого времени жизни УХН в ловушках. Гипотетически возможно несколько механизмов утечки УХН из ловушек /1/. Один из них - неупругое рассеяние УХН на водороде, содержащемся как на поверхности, так и в приповерхностном слое стенок. При действии указанного механизма увеличение времени жизни УХН в ловушках возможно несколькими путями, например, намораживанием на поверхность стенки веществ с достаточно большой граничной скоростью и малым сечением неупругих процессов. В настоящей работе на стенки медной ловушки намораживался тяжеловодный лед. В отличие от работы /2/, в настоящей работе была разработана методика и устройства, позволяющие контролировать толщину тяжеловодного льда, намораживаемого на поверхность медной ловушки, а также осуществлять наморозку льда в процессе хранения УХН, тем самым постоянно "обновляя" его поверхность.

Сравним времена жизни, даваемые теорией, для тяжеловодной и "чистой" медной ловушки. Граничные скорости для медной и тяжеловодной ловушек близки ($v_{Cu} = 5,7$ м/с; $v_{D_2O} = 5,26$ м/с). Поэтому спектр УХН в идентичных по размерам ловушках почти

одинаков и можно рассматривать отношение времен жизни для произвольной скорости. Это отношение равно

$$\tau_{D_2O}/\tau_{Cu} = \mu_{Cu}/\mu_{D_2O}, \quad (1)$$

где μ_{Cu} , μ_{D_2O} - вероятность утечки при одном соударении. Как известно /3/, выражение для μ имеет вид:

$$\mu \sim k(\sigma_a + \sigma_{ie})/4\pi R_e b, \quad (2)$$

где k - волновой вектор; b - когерентная длина рассеяния; σ_a - сечение поглощения; σ_{ie} - сечение неупругого рассеяния. Тогда

$$\tau_{D_2O}/\tau_{Cu} = \sigma_{tot}^{Cu} b_{D_2O} / \sigma_{tot}^{D_2O} b_{Cu}, \quad (3)$$

где

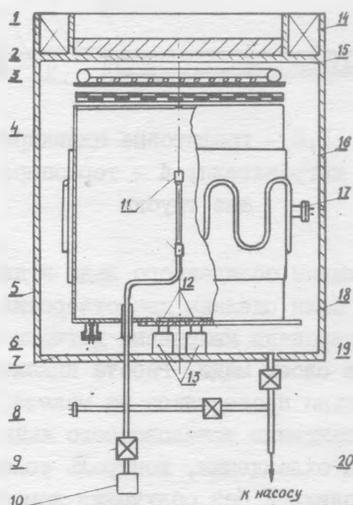
$$\sigma_{tot} = \sigma_a + \sigma_{ie}.$$

Расчет $\sigma_{tot}^{Cu}/\sigma_{tot}^{D_2O}$ производился в однофононном некогерентном приближении для сечения неупругого рассеяния σ_{ie} и закона $1/v$ для сечения поглощения σ_a , используя значения $\sigma_a^{D_2O} = 0,625$ барн и $\sigma_{ie}^{D_2O} = 66$ барн при энергии нейтронов $\sim 10^{-7}$ эВ, $T = 77$ К /4/, а также значение $\sigma_a^{Cu} = 3,77$ барн при $v = 2200$ м/с. Результаты расчета для τ_{D_2O}/τ_{Cu} при 100% D_2O и при наличии примеси H_2O для различных температур приведены в таблице.

Концентрация D_2O	T, K			
	77	173	223	273
99,8%	-	16,5	8,9	6,7
100%	68	17	9,4	6,8

Из таблицы видно, что даже при наличии примеси H_2O наморозка на стенки "чистой" медной ловушки тяжеловодного слоя должна увеличить время жизни в ней более чем на порядок ($T < 200 K$) и в еще большее число раз по отношению ко времени жизни в реальной ловушке.

Эксперименты по созданию тяжеловодной ловушки и измерению времени жизни в ней проводились на установке "камера УХН" /5/. Основные узлы установки показаны на рис. 1. Нейтронная ловушка представляет собой цилиндр из электрополированной меди высотой 40 см и диаметром 40 см. Впуск нейтронов в ловушку во время импульса реактора ИИН-2 /7/ осуществляется сверху через систему из быстрого и медленного затворов. Для регистрации УХН в дне



Р и с. 1. Экспериментальная установка "камера УХН". 1 - отражатель; 2 - конвертор; 3 - быстрый затвор; 4 - медленный затвор; 5 - корпус; 6,7 - кварцевые датчики толщины; 8 - вакуумный электрический ввод; 9,19,20 - вентили; 10 - сосуд с тяжелой водой; 11 - инжектор; 12 - выпускные отверстия; 13 - детекторы УХН; 14 - замедлитель; 15 - система охлаждения конвертора; 16 - система охлаждения ловушки; 18 - механизм перемещения фильтров

ловушки имеются два отверстия, под которыми расположены газовые спинтилляционные детекторы /6/. В процессе хранения нейтронов отверстия закрыты медными шторками. Боковая поверхность ловушки окружена хладопроводом, через который может прогоняться жидкий азот. Контроль температуры стенок осуществлялся с помощью термопар, установленных на боковой поверхности, днище, а в процессе отработки методики намораживания льда — еще и на поверхности медленного затвора. Тяжелая вода напылялась на поверхность ловушки через графитовый инжектор (рис. 2). Конструктивно он выполнен в виде двух цилиндров ($d = 14$ мм, $h = 20$ мм), припаянных к медной трубке и расположенных на расстоянии 120 мм друг от друга.



Р и с. 2. Инжектор. 1,5 — графитовые цилиндры; 2,6 — медная трубка; 3 — спираль нагревателя; 4 — термонара; 7 — изолирующие трубки

Для контроля толщины осажденного льда в дне и на боковой поверхности ловушки были сделаны два отверстия диаметром 8 мм, в которые были вмонтированы кварцевые датчики измерителя толщины (КИТ-1), покрытые слоем меди. Работа инжектора и кварцевых датчиков предварительно проверялась на макете, позволяющем визуально наблюдать осаждение тяжеловодного льда. Отработка методики, выбор режима охлаждения, контроль толщины и скорости осаждения льда проводились без облучения камеры. При непрерывном протокe азота через систему охлаждения ловушки стационарное значение температуры ее стенок устанавливалось примерно через 1,5 часа и составляло ~ 100 К. После охлаждения ловушки открывался вентиль, отделяющий сосуд с D_2O от инжектора. Скорость осаждения тяжеловодного льда составляла в среднем $85 \frac{\text{Å}}{\text{мин}}$.

Последовательность проведения эксперимента по созданию тяжеловодной ловушки и измерению τ_{D_2O} была следующей. Перед

импульсом реактора установка откачивалась системой безмасляной откачки ЭРА и охлаждалась до установления стационарных температур. Затем в инжектор подавалась предварительно обезгаженная тяжелая вода. Установка закатывалась под реактор. Оценки расхода D_2O , времени и скорости осаждения показывают, что накопление УХН проводилось в ловушке с толщиной слоя тяжеловодного льда $\sim 2500 \text{ \AA}$.

Были выполнены две серии экспериментов по измерению времени жизни УХН в ловушке: без наморозки тяжелой воды и с наморозкой. Каждая серия включала в себя в среднем 4 эксперимента для фиксированного времени хранения в интервале $60 \pm 120 \text{ с}$ и фоновые измерения. В результате было получено значение

$$\tau_{D_2O} / \tau_{Cu} = (1,1 \pm 0,9). \quad (4)$$

Полученный результат, также как и результат работы /2/, хотя и не исключает полностью гипотезы о водородной "шубе", свидетельствует в пользу некоего универсального механизма, приводящего к выбыванию УХН из ловушек, обусловленного, например, универсальными свойствами поверхностных слоев. На наш взгляд, для однозначного ответа на вопрос о причинах малого времени удержания УХН необходимо более тщательное изучение химического состава, структуры и динамических свойств поверхностных слоев и сопоставление параметров поверхности либо с временем жизни УХН (в экспериментах по хранению УХН в ловушках), либо с зависимостью коэффициента отражения УХН от их скорости (в спектрометрических исследованиях).

Авторы благодарны А. А. Тихомирову, А. Е. Гуреву и В. Н. Ковыльникову за помощь в проведении измерений.

Поступила в редакцию
17 июля 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. В. Стрелков, М. Хетцельт, ЖЭТФ, 74, 23 (1978).
2. В. П. Алфименков и др., Препринт ОИЯИ РЗ-80-761, Дубна (1980).
3. Ф. Л. Шапиро, Препринт ОИЯИ РЗ-7135, Дубна (1973).
4. W. Gissler, J. für Krist., 118, 149 (1963).

5. А. В. Антонов и др., Письма в ЖЭТФ, 24, вып. 6, 387 (1976).
6. А. В. Антонов и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № II, 5 (1974).
7. А. И. Смирнов и др., Препринт ИАЭ - 1692, М., 1968 г.