

НАКОПЛЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ НА
СТАЦИОНАРНОМ РЕАКТОРЕ

В. А. Анджоленко, А. В. Антонов, А. И. Исаков,
Н. В. Ливькова, А. П. Перекрестенко, В. Е. Соловьев,
С. А. Старцев, А. А. Тяжкомиков

УДК 539.125.5.

Описаны опыты по накоплению ультрахолодных нейтронов (УХН) в бериллиевых ловушках на реакторе ИГЭФ ($\Phi_n \sim 4 \cdot 10^{13}$ н/см²сек). Теоретически рассмотрена и экспериментально проверена возможность перемещения ловушки с накопленным газом из УХН.

Как известно, исследования с ультрахолодными нейтронами (УХН) открывают перспективы для решения некоторых проблем современной физики /1/. Одной из задач физики УХН является разработка методов получения и исследования "газа" из УХН, накапливаемого в откачанных сосудах - "ловушках". В настоящей работе описано экспериментальное осуществление метода получения УХН в ловушке на стационарном реакторе /2/.

Время хранения нейтронов в ловушке ограничивается их радиоактивным распадом, а также процессами взаимодействия с веществом стенок /3/. Анализ процесса захвата /4/, упругого /5/ и неупругого /6/ рассеяния, нагрева УХН звуковыми колебаниями стенок ловушки /7/, роли качества обработки отражающей поверхности /8/ не дает возможности объяснить наблюдаемые для УХН времена жизни; последние оказываются всегда в 5-10 раз меньше, чем рассчитанные величины /9/. Для накопления значительных количеств УХН в ловушках необходимо достичь их максимального выхода из замедлителя, что может быть осуществлено с помощью охлаждаемых конверторов /10/. Полное число ультрахолодных нейтронов, накопленных в ловушке, можно оценить из баланса между их притоком через окно и оттоком через него, а также выбыванием за счет процессов, ограничивающих время жизни УХН в ловушке /4/:

$$N_0 = \int_0^{v_{гр}} N(v)f(v,T)dv = \frac{16}{5} \frac{\Phi_T}{v_{гр}} \eta, \quad (I)$$

где

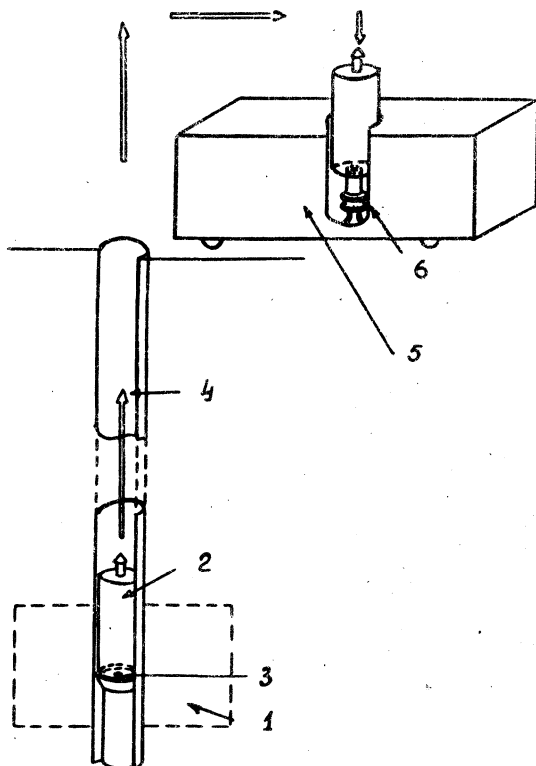
$$\eta = 1 + \frac{3}{2} k + 3k^2 - 3k^2 \ln(1 + \frac{1}{k}),$$

$$k = 4\Omega\lambda/vs, \quad \lambda = \lambda' + \lambda'',$$

Ω - объем ловушки, s - площадь входного окна, v - скорость УХН, λ' - постоянная распада свободного нейтрона, λ'' - постоянная для данного материала стенок, учитывающая убыль УХН вследствие поглощения и нагрева при неупругом рассеянии до скоростей $v > v_{гр}$. Φ_T - поток тепловых нейтронов в реакторе. Эта формула справедлива для времени $t \gg 1/(\lambda + vs/4\Omega)$. Расчет по формуле (I) показывает, что в бериллиевой ловушке ($\Omega = 1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^3$, $\Phi_T = 4 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2 \text{ сек}$) может быть накоплено до ~ 800 УХН (если конвертор находится при комнатной температуре). Как показал расчет /II/, перемещение ловушки с накопленными УХН из канала реактора к регистрирующему устройству приводит к потерям; эти потери связаны с нарушением условий полного отражения в движущейся ловушке для части УХН. В условиях данного эксперимента потери составляют 30-36% в случае зеркального и диффузного отражения УХН соответственно.

Настоящая работа была проведена на вертикальном канале ($\varnothing = 100$ мм) физического реактора ИГЭФ ($\Phi_T = 4 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2 \text{ сек}$). В экспериментах использовались цилиндрические бериллиевые ловушки ($\Omega = 1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^3$). В качестве конвертора применялась шайба из гидрида циркония, помещенная вблизи центра активной зоны реактора. На рис. 1, 2 дана схема установки и измерительного блока. Для регистрации УХН в условиях большого β , γ -фона был разработан специальный детектор /I2/. Он представлял собой систему из двух поверхностно-барьерных счетчиков (ДКС-0,5), расположенных в герметичном контейнере, заполненном He^3 до давления 15 тор. УХН проходили в детектор через титановое окно. Регистрация УХН основана на реакции $\text{He}^3(n,p)\text{T}$. Импульсы от УХН записывались на амплитудном анализаторе, который состоял из четырех подгрупп по

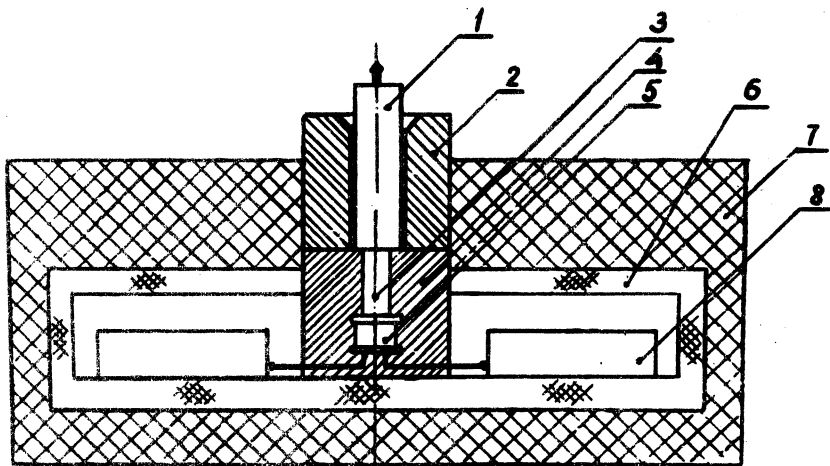
128 каналов в каждой, включавшихся на 35 сек последовательно друг за другом. Применяемая система фильтров (тонкие фольги из меди и кадмия) позволяла выделять УХН. Для более полного подавле-



Р и с. 1. Общая схема эксперимента. Стрелки указывают перемещение ловушки из канала реактора в измерительный блок: 1 - активная зона реактора; 2 - ловушка; 3 - конвертор УХН; 4 - канал реактора; 5 - измерительный блок; 6 - детектор УХН.

ния γ -фона детектор был защищен свинцом и соединен с ловушкой с помощью медного полированного нейтропровода (длиной 10 см, внутренним диаметром 0,5 см). При расчетной эффективности установки 0,25 - 0,5% (отношение числа зарегистрированных УХН к

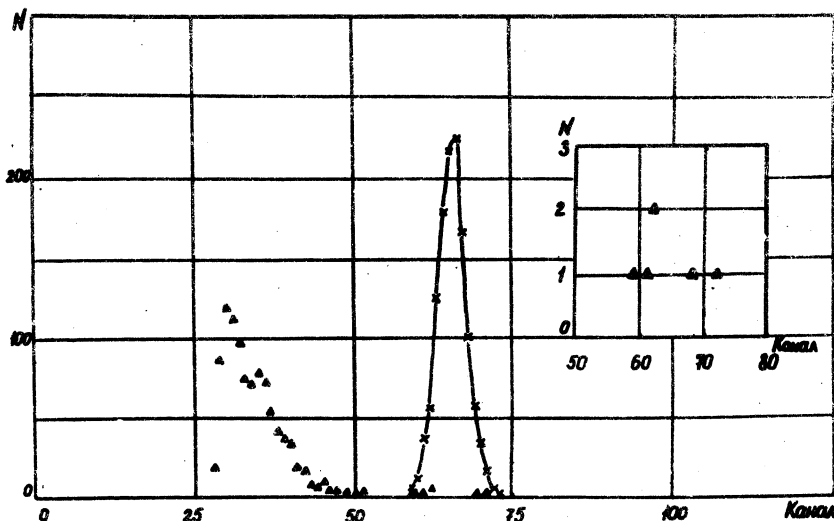
числу накопленных в ловушке) в каждом опыте должно было регистрироваться в среднем от 1 до 2 импульсов от УХН (если считать, что температура конвертора комнатная). Был принят следующий порядок измерений. При остановленном реакторе ловушка опускалась ди-



Р и с. 2. Измерительный блок установки. 1 - ловушка УХН; 2 - карбид бора; 3 - нейтроновод; 4 - шпинец; 5 - детектор УХН; 6 - карбид бора; 7 - парафин; 8 - предусилители.

станционно в вертикальный канал так, что окно ловушки соприкасалось с конвертором. Облучение ловушки проводилось в течение 2 минут на мощности 2,5 Мвт, затем ловушка извлекалась со средней скоростью $\sim 0,4$ м/сек и устанавливалась в приемном гнезде измерительного блока вплотную к окну нейтроновода. Амплитудное распределение импульсов от УХН приведено на рис. 3. На том же рисунке показан пик от тепловых нейтронов, полученный при калибровке. Как и следовало ожидать, сигналы от УХН расположены в пределах этого пика. Контрольные измерения фона от запаздывающих нейтронов, излучаемых реактором и от фотонейтронов, возникающих по реакции $\text{Be}(\gamma, n)$ от облученной ловушки, подтвердили, что наблюдаемый нами эффект действительно вызывается регистрацией УХН. Время жизни УХН в бериллиевой ловушке оказалось $\sim 20 - 50$ сек.

Таким образом, проведенные эксперименты показывают осуществимость предложенного метода накопления УХН в ловушках. Увеличение эффективности метода возможно за счет охлаждения конвертора до температур жидкого неона или гелия (при этом накопление УХН



Р и с. 3. Амплитудное распределение импульсов, измеренное в одном сеансе. \times — калибровка по тепловым нейтронам, Δ — импульсы от УХН, Δ — фоновые импульсы.

в ловушке возрастает в 10 – 30 раз), а также за счет существенного (в 5 – 10 раз) повышения эффективности регистрации УХН, например, путем использования диэлектрического (слюдяного и др.) детектора с радиатором из соединения U^{235} с титаном. Отказ от применения нейтронвода также позволит существенно сократить потери УХН. При осуществлении перечисленных выше усовершенствований эффективность регистрации УХН может быть повышена более чем на два порядка.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность профессору Д. Г. Абову за обсуждение постановки задачи и предоставленную возможность измерений на реакторе ИГЭФ, а также группе обслуживания реактора.

Поступила в редакцию
29 октября 1973 г.

Л и т е р а т у р а

- I. Ф. Л. Шапиро. Доклад на международной конференции по изучению структуры ядер при помощи нейтронов. Будапешт, 1972 г.
2. А. В. Антонов и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № I, 3 (1970).
3. И. И. Гуревич, Л. В. Тарасов. Физика нейтронов низких энергий, 1965 г.
4. А. В. Антонов, А. И. Исаков, М. В. Казарновский, В. Е. Солодков. Препринт ФИАН № 98, 1969 г.
5. В. К. Игнатович. Препринт ОИЯИ Р4-6553, 1972 г.
6. В. К. Игнатович. Препринт ОИЯИ Р4-6681, 1972 г.
7. А. С. Герасимов, В. К. Игнатович, М. В. Казарновский. Препринт ОИЯИ Р4-6940, 1973 г.
8. A. Steyerl. Z. Phys., 254, 169 (1972).
9. Л. В. Грошев и др. Препринт ОИЯИ Р3-5392, 1970 г.
10. В. В. Голиков, В. И. Лушков и др. Препринт ОИЯИ Р3-6556, 1972 г.
11. В. А. Анжколенко, А. В. Антонов и др. Препринт ФИАН № 92 (1973).
12. А. В. Антонов, А. Д. Перекрестенко и др. Краткие сообщения по физике ФИАН № 9, 13 (1973).