

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СПЕКТРА УЛЬТРАХОЛОДНЫХ
НЕЙТРОНОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ХРАНЕНИЯ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. Н. Ковыльников,
Н. В. Лянькова, В. И. Микеров, В. А. Тукарев

УДК 539.074

Приводятся и обсуждаются результаты опытов по исследованию эволюции спектра ультрахолодных нейтронов (УХН), хранящихся в медной электрополированной ловушке в течение 3 минут.

В настоящее время рассматриваются два возможных механизма приобретения энергии ультрахолодными нейтронами при исчезновении из ловушки: 1) нейтрон приобретает энергию в одном столкновении; 2) энергия приобретается в результате многократного неупругого рассеяния.

Ответить априори, какой из этих механизмов имеет место в ловушке из того или иного материала, невозможно из-за незнания динамических свойств вещества в приповерхностной области. Естественно однако допустить, что динамические свойства в приповерхностной области и в объеме вещества различны. Причиной этого является наличие поверхности (нарушения изотропности свойств вещества), а также различных примесей, как адсорбированных поверхностей, так и растворенных в приповерхностной области. Существенное влияние на динамические свойства могут иметь структурные дефекты и неоднородности, связанные с обработкой материала. Указанные факторы могут приводить к появлению аномально высокой концентрации фононов в низкочастотной области и, вследствие этого, к увеличению сечения рассеяния УХН с поглощением соответствующих порций энергии. В работе /1/ показано, что возможен механизм приобретения энергии нейтроном малыми порциями («кТ»). Заметим, что наблюдение за пределами ловушки нейтронов с энер-

гней $\sim kT/2$ не означает, вообще говоря, отсутствия механизма многократного неупругого рассеяния. При увеличении энергии УХН в результате многократного рассеяния увеличивается глубина проникновения нейтронной волны в вещество. Вследствие этого соотношение между вероятностями приобретения малой и большой порции энергии может изменяться в пользу последней. Различные механизмы исчезновения УХН из ловушки должны приводить к различной эволюции спектра нейтронов. В настоящей работе описывается метод изучения эволюции спектра и исследование изменения спектра УХН в процессе хранения в медной ловушке.

Представленные в статье результаты были получены на экспериментальной установке, конструкция которой подробно описана в работах /3,4/. Нейтронная ловушка установки представляет собой цилиндр из электрополированной меди высотой 40 см и диаметром также 40 см. Впуск нейтронов в ловушку во время импульса реактора осуществляется сверху. Для регистрации УХН в дне ловушки имеются два отверстия, под которыми расположены газовые сцинтилляционные детекторы /5/. В процессе хранения отверстия закрыты медными шторками.

Для изучения эволюции спектра нейтронного газа в процессе его хранения перед одним из детекторов была установлена тонкая ($\delta = 10$ мкм) ванадиевая фольга. Нейтроны, оставшиеся в ловушке после определенного времени хранения, регистрировались в этих опытах отдельно каждым детектором. Поскольку коэффициент пропускания ванадиевой фольги зависит от скорости падающих на нее нейтронов, величина отношения счетов УХН детектором без ванадиевого фильтра и с фильтром N/N_v должна быть связана со спектром нейтронов, падающих на детектор. Использование в качестве фильтра ванадия вызвано тем, что, во-первых, для ванадия $v_{гр} = 0$ и, во-вторых, его фонный спектр хорошо описывается дебаевской моделью. Последнее обстоятельство позволяет, как известно, легко оценить вклад неупругого рассеяния в величину коэффициента пропускания фильтра. Отношение может быть представлено в виде:

$$N(t)/N_v(t) = \int_{E_g}^{E_{гр}} S(E,t)\epsilon(E)dE \bigg/ \int_{E_g}^{E_{гр}} S(E,t)\epsilon(E)P(E)dE. \quad (I)$$

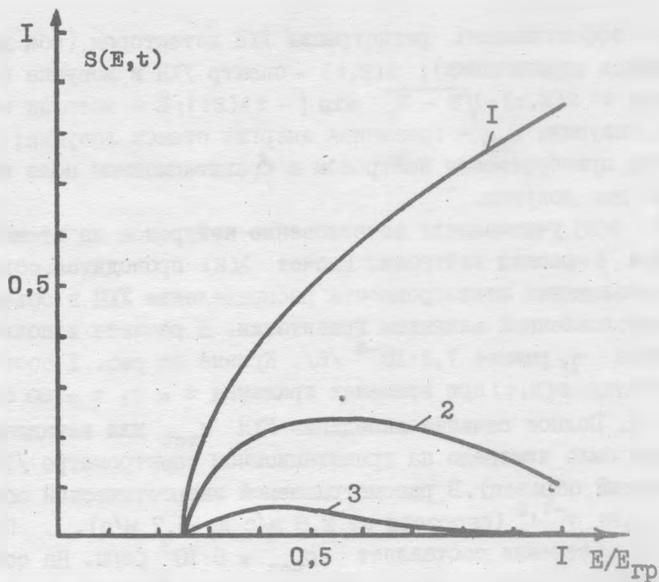
Здесь $P(E)$ - вероятность прохождения УХН через ванадиевый фильтр;

$\varepsilon(E)$ - эффективность регистрации УХН детектором (оба детектора считались идентичными); $S(E, t)$ - спектр УХН в ловушке к моменту времени t : $S(E, t) \sim \sqrt{E - E_g} \exp\{-t\lambda(E)\}$; E - энергия нейтрона у дна ловушки; $E_{гр}$ - граничная энергия стенок ловушки; E_g - энергия приобретаемая нейтроном в гравитационном поле при падении на дно ловушки.

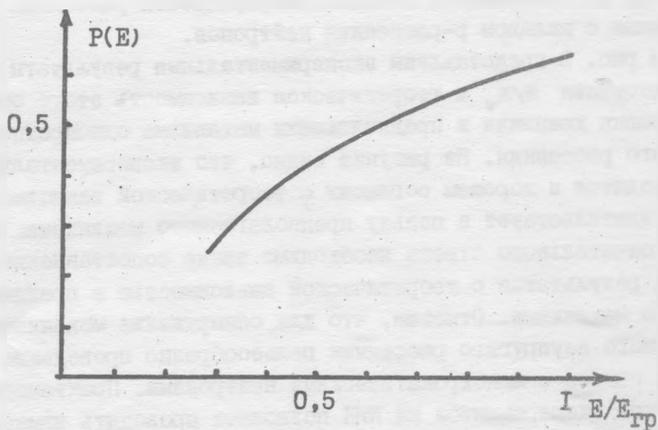
В $\lambda(E)$ учитывается исчезновение нейтронов на стенках ловушки и β -распад нейтрона. Расчет $\lambda(E)$ проводится, согласно /6/, в предположении неизотропности распределения УХН в объеме ловушки, обусловленной влиянием гравитации. В расчете использовалось значение η , равное $7,5 \cdot 10^{-4}$ /6/. Кривые на рис. 1 соответствуют расчету $S(E, t)$ при временах хранения $t = 0$, $t = 60$ с и $t = 180$ с. Полное сечение выведения УХН σ_{tot} для ванадиевого фильтра было измерено на гравитационном спектрометре /7/ (неотожженный образец). В рассматриваемой энергетической области УХН $\sigma_{tot} \propto v^{-1,2}$ (скорости от 2,8 м/с до 5,7 м/с). При $v \sim 6$ м/с сечение составляет $\sigma_{tot} \approx 6 \cdot 10^3$ барн. На основании этих данных, оенок сечения радиационного захвата σ_a и неупругого некогерентного рассеяния σ_{H^*} была получена зависимость $P(E)$, представленная на рис. 2. При расчете сечения упругого рассеяния УХН на неоднородностях структуры ванадия, имеющих диаметр 200 Å, оценивалась степень несферичности рассеяния УХН, связанная с вкладом p -рассеяния нейтронов.

На рис. 3 представлены экспериментальные результаты измерения отношения N/N_v и теоретическая зависимость этого отношения от времени хранения в предположении механизма однократного неупругого рассеяния. Из рисунка видно, что экспериментальные точки находятся в хорошем согласии с теоретической зависимостью, что свидетельствует в пользу предполагаемого механизма. Однако для окончательного ответа необходимо также сопоставление полученных результатов с теоретической зависимостью в предположении второго механизма. Отметим, что для обнаружения механизма многократного неупругого рассеяния целесообразно проведение аналогичных опытов с монохроматическими нейтронами. Практическая бесфоновость экспериментов на ИИН позволяет проводить измерения со

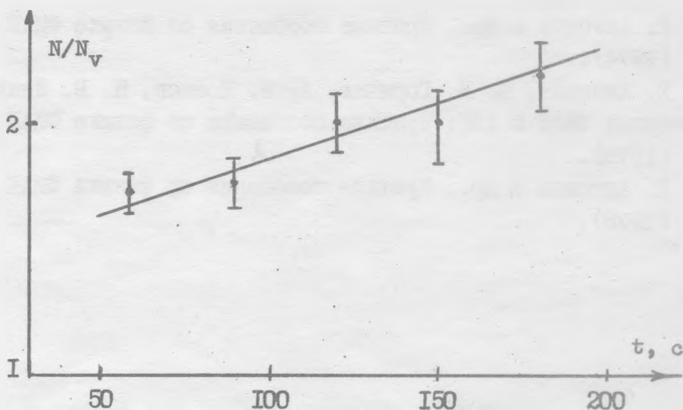
*) В рассматриваемом энергетическом диапазоне УХН $\sigma_{tot} \sim 30$ барн.



Р и с. 1. Спектр УХН в медной ловушке в зависимости от времени хранения t : 1 - $t = 0$ с; 2 - $t = 60$ с; 3 - $t = 180$ с



Р и с. 2. Зависимость коэффициента пропускания ванадиевого фильтра от энергии нейтронов



Р и с. 3. Зависимость N/N_v от времени хранения. Сплошная линия — теоретическая зависимость

сравнительно небольшим числом нейтронов в ловушке. Разработанная методика может быть использована для поиска механизма многократного неупругого рассеяния в экспериментах с ловушками из других веществ, например, графитовых и стеклянных. В случае действия этого механизма изучение эволюции спектра УХН может дать информацию о фоновом спектре вещества в приповерхностной области.

Поступила в редакцию
15 марта 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. И. Горячев, Н. В. Линькова, Краткие сообщения по физике ФИАН № 7, 32 (1976).
2. А. В. Стрелков, М. Хетцельт, ЖЭТФ, 74, вып. I, 23 (1978).
3. В. И. Микеров, Получение ультрахолодных нейтронов на импульсном реакторе аперриодического действия. Кандидатская диссертация. М., 1977 г.
4. А. В. Антонов и др., Письма в ЖЭТФ, 24, вып. 6, 387 (1976).