

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ СВОБОДНОГО  
НЕЙТРОНА С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. И. Мижеров, В. А. Тукарев

УДК 539.125.5

Описан метод измерения времени жизни свободного нейтрона с помощью ультрахолодных нейтронов. Обсуждены возможные систематические погрешности данного метода.

Поиск и развитие новых методов измерения периода полураспада свободного нейтрона  $T_{1/2}$  имеют большое значение в связи с необходимостью увеличения точности измерения этой величины  $1/\lambda$ . Одним из направлений поиска является измерение  $T_{1/2}$  по времени хранения ультрахолодных нейтронов (УХН) в ядерных и магнитных ловушках  $2/$ . Предлагаемый метод в отличие от метода, описанного в работе  $2/$ , не требует знания характеристик нейтронного газа в ловушке и параметров взаимодействия УХН со стенками ловушки и поэтому свободен от присущих методу  $2/$  погрешностей и недостатков. В частности, предлагаемый метод позволяет работать с полным спектром нейтронов, способных храниться в ловушке, что повышает статистическую точность измерения.

Предположим, что в ловушке хранятся УХН, характеризующиеся некоторым распределением по скоростям. Полная вероятность исчезновения УХН из ловушки в единицу времени, усредненная по спектру нейтронов, может быть представлена в виде:  $\bar{\lambda}(t) = \lambda_{\beta} + \bar{\lambda}_{w1e}(t) + \bar{\lambda}_{wa}(t)$ , где  $\lambda_{\beta}$ ,  $\lambda_{w1e}(t)$ ,  $\lambda_{wa}(t)$  - вероятности испытать в единицу времени соответственно  $\beta$ -распад, неупругое рассеяние и поглощение вследствие взаимодействия со стенками ловушки. Для ловушки из слабо поглощающих материалов, например, из бериллия  $\bar{\lambda}_{wa} \ll \bar{\lambda}_{w1e}$  и можно полагать, что  $\bar{\lambda}(t) =$

$= \lambda_p + \bar{\lambda}_{wie}(t)$ . Полное число УХН в ловушке в зависимости от времени определяется в этом случае выражением:

$$N(t) = N_0 \exp \left\{ - \left( \lambda_p t + \int_0^t \bar{\lambda}_{wie}(\tau) d\tau \right) \right\}.$$

Отсюда получаем, что

$$\lambda_p = \ln(N(t_1)/N(t_2)) / (t_2 - t_1) - \int_{t_1}^{t_2} \bar{\lambda}_{wie}(\tau) d\tau / (t_2 - t_1). \quad (1)$$

Заметим, что  $\bar{\lambda}_{wie}(t)$  определяется отношением числа нейтронов, выбывающих из ловушки в единицу времени в результате неупругого рассеяния на стенках ловушки, к полному числу нейтронов в ловушке в этот момент времени, т.е.

$$\bar{\lambda}_{wie}(t) = \left( \frac{dN(t)}{dt} \right)_{wie} / N(t). \quad (2)$$

Таким образом, измерение  $\lambda_p$  сводится к измерению величин  $(dN(t)/dt)_{wie}$  и  $N(t)$  в интервале времен  $(t_1; t_2)$ . Известно [3], что неупругое рассеяние УХН приводит к их нагреву до энергии  $\sim kT$ , поэтому измерение этих величин предлагается проводить одной системой счетчиков тепловых нейтронов, окружающей ловушку снаружи. При этом для измерения  $N(t)$  УХН можно быстро нагреть, напустив в ловушку слабо поглощающий газ или перепустив нейтроны в лабиринтную систему (с достаточно малой длиной свободного пробега) из того же материала, что и стенки ловушки. Как показали оценки, в последнем случае УХН полностью выбывают из ловушки за время  $\leq 10$  с.

Рассмотрим кратко вопрос о систематических погрешностях измерения величины  $\lambda_p$ , исходя из следующей формулы расчета данной величины:

$$\lambda_p = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \left[ \ln \frac{\varepsilon_1 N(t_1) N_{02}}{\varepsilon_2 N(t_2) N_{01}} - \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_{Ji} \left( \frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_i}{\varepsilon_i N(t_i)} \right] \quad (3)$$

Здесь  $N_{01}$ ,  $N_{02}$  - показания монитормого счетчика,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_J$ ,  $\varepsilon_i$  - эффективности регистрации соответственно величин  $N(t_1)$ ,  $N(t_2)$ ;  $(\Delta N/\Delta t)_i$ ;  $N(t_i)$ . Из этого выражения видно, что систематические погрешности могут быть обусловлены отлнчием от 1 отношений  $\varepsilon_1/\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_J/\varepsilon_i$ . Не останавливаясь на причинах этого отлнчия, заметим, что в случае, когда ловушка окружена счетчиками полностью, а эффективность счетчиков одинакова, указанная погрешность должна отсутствовать. Систематическая ошибка, связанная с конечностью времени нагрева УХН при определении  $N(t_1)$  и  $\bar{\lambda}_{wie}(t_1)$ , определяется величиной  $\delta = \bar{\tau}'/\tau_\beta$ , где  $\tau_\beta$  - время жизни свободного нейтрона,  $\bar{\tau}'$  - время выпуска УХН через стенки ловушки при определении  $N(t)$ . Она может быть учтена путем измерения  $\bar{\tau}'$ . Вклад в систематическую погрешность может внести также изменение свойств поверхности ловушки в процессе проведения измерений. Здесь следует заметить следующее: 1) если измерения проводить с герметичной ловушкой, т.е. напуск нейтронов в ловушку осуществлять через фольгу, то резкое изменение параметров поверхности маловероятно (если же оно все же произойдет, то этот эффект легко обнаруживается, так как в опытах измеряется величина  $\bar{\lambda}_{wie}$ ); 2) плавное изменение свойств поверхности ловушки может быть учтено специальным планированием проведения эксперимента.

В заключение необходимо отметить, что измерение  $\lambda_p$  предлагаемым методом возможно как на стационарных, так и на импульсных реакторах. При этом статистическая точность определения  $\lambda_p$  будет обусловлена оптимальным сочетанием эксплуатационных характеристик реактора и конструкции установки. Например, полная реализация возможностей метода получения газа УХН на импульсном реакторе аperiodического действия класса ИИН по предварительным оценкам позволит получить статистическую точность (3+5)% за 80+100 импульсов.

Поступила в редакцию  
29 июля 1981 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. C. J. Christensen et al., Phys. Rev., 50, 1628 (1972).

2. Ю. Ю. Косвинцев и др., Письма в ЖЭТФ 31, вып. 4, 257 (1980).
3. А. В. Стрелков, М. Хетцельт, ЖЭТФ 74, вып. 1, 23 (1978).