

ЛОВУШКА ДЛЯ НАКАПЛИВАНИЯ НЕЙТРОННОГО ГАЗА В СТАЦИОНАРНОМ РЕАКТОРЕ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. Е. Солодилов.

Использование ультрахолодных нейтронов для проведения ряда физических исследований весьма перспективно¹; поэтому разработка методов их получения и накопления в ловушках безусловно является интересной и важной физической задачей.

Вопрос о хранении нейтронного газа в ловушках был впервые рассмотрен Я.Б. Зельдовичем² и В.В. Владимирским³. Первым наблюдал ультрахолодные нейтроны Ф.Л. Шапиро с сотрудниками⁴. Некоторые особенности поведения нейтронного газа в ловушках рассматривались в работе⁵, в которой также предложен метод, позволяющий при использовании мощного импульсного источника нейтронов накапливать в ловушке за цикл до $\sim 10^9$ ультрахолодных нейтронов. Накопление нейтронов в ловушке от стационарного источника нейтронов детально до сих пор не обсуждалось.

Рассмотрим возможности накопления ультрахолодных нейтронов при использовании стационарных реакторов. Если для находящейся в канале реактора ловушки проанализировать баланс между притоком ультрахолодных нейтронов через её эмиттер площади S , их оттоком через него и естественным распадом нейтронов, то нетрудно получить зависимость от времени количества нейтронов скорости $v \leq v_p$, находящихся в ловушке^{5,6}:

$$N_v = \frac{\xi \Phi_0 S}{\lambda + \frac{vS}{4\Omega}} \left[1 - e^{-(\lambda + \frac{vS}{4\Omega})t} \right], \quad (1)$$

где Φ_T - поток тепловых нейтронов в канале реактора;

S - площадь поверхности эмиттера ультрахолодных нейтронов;

Ω - объём ловушки;

ξ - коэффициент эффективности образования ультрахолодных нейтронов из тепловых

$$\left(\xi = 2 \frac{v^3}{v_T^4} \text{ см.}^7 \right);$$

v - скорость ультрахолодных нейтронов в ловушке;

λ - константа естественного распада нейтронов.

Очевидно, что при $t \gg \frac{1}{\lambda + \frac{vS}{4\Omega}}$ N_T будет близко

к величине $\xi \Phi_T S / (\lambda + \frac{vS}{4\Omega})$; в свою очередь, при

$S \gg \frac{4\lambda\Omega}{v}$ величина $\xi \Phi_T S / (\lambda + \frac{vS}{4\Omega})$, гипер-

болически зависящая от S , будет не слишком сильно отличаться от асимптотического значения $A = \frac{4\xi\Phi_T\Omega}{v}$.

Проинтегрировав (1) по v от 0 до v_{φ} , получим полное число ультрахолодных нейтронов, которое может быть накоплено в ловушке (в предположении, что $t \gg \frac{1}{\lambda}$):

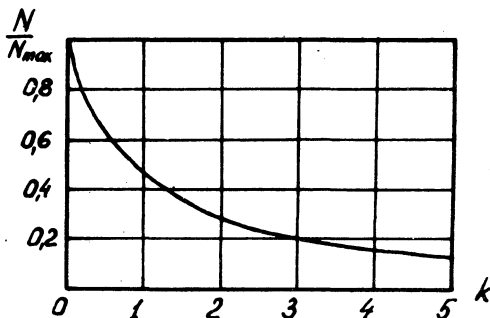
$$N = \frac{16}{3} \frac{\xi \Phi_T \Omega}{v_{\varphi}} \eta, \quad (2)$$

где

$$\eta = \left[1 - \frac{3}{2} k + 3k^2 - 3k^3 \ln\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad (k = \lambda / \left(\frac{v_{\varphi} S}{4\Omega}\right))$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(\frac{v_{\varphi}}{v_T}\right)^4.$$

На рис. 1 приведена зависимость числа накапливаемых нейтронов от параметра k . Средняя скорость \bar{v} ультрарезких нейтронов в ловушке при достаточно больших временах накопления почти не зависит от величины параметра k (изменяясь от $0,75 v_{\text{пр}}$ до $0,8 v_{\text{пр}}$ при возрастании k от 0 до ∞).



Р и с. 1. Зависимость числа накапливаемых нейтронов N от пара-

$$\text{метров } k = \frac{\lambda}{\frac{v_{\text{пр}} S}{4\Omega}}.$$

Величина N_{max} — максимальное количество нейтронов, накапливаемых в ловушке объемом $\Omega = 10^3 \text{ см}^3$, покрытой изнутри бериллием ($v_{\text{пр}} = 6,8 \text{ см/сек}$), при потоке тепловых нейтронов в канале реактора $\phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2 \text{ сек}$ и эмиттере, находящемся при комнатной температуре ($\xi = 3 \cdot 10^{-11}$), равна $\sim 7 \cdot 10^3$. При охлаждении эмиттера до температуры жидкого азота ξ увеличится на порядок и, следовательно, N_{max} достигнет величины $7 \cdot 10^4$.

При извлечении ловушки из реактора плотность нейтронного газа в ловушке будет затухать как

$$e^{-(\lambda + \frac{vS}{4\Omega})t}.$$

Повидимому, время извлечения ловушки

целесообразно выбирать из условия $t_u \ll \frac{1}{\lambda + \frac{vS}{4\Omega}}$.

При значениях $S \approx \frac{4\lambda\Omega}{v}$ (что для приведённого выше примера при $v_{ip} = 6,8$ м/сек соответствует $S \approx \approx 10^{-2}$ см²) рационально выбрать $t_u \sim 100$ сек. За такое время ловушка вполне может быть извлечена из канала и при достаточно медленном её перемещении (со скоростью $v_2 \ll v_{ip}$) доставлена в защищённое от фона помещение; при возрастании $S \cdot t_u$ уменьшается, поэтому своевременное извлечение ловушки из реактора может стать затруднительным. В этом случае для устранения утечки накопленного газа необходимо после окончания процесса накопления нейтронов закрывать поверхность эмиттера пластиной, отражающей ультрахолодные нейтроны (время закрывания $t_3 \ll \frac{1}{\lambda + \frac{vS}{4\Omega}}$).

Практически возможно создание ловушки в виде эвакуированного сосуда диаметром 5 - 10 см и объёмом несколько литров с отражающими ультрахолодные нейтроны стенками, снабжённого тонкостенным алюминиевым окошком требуемой площади S . Снаружи к этому окошку должен примыкать эмиттер ультрахолодных нейтронов. После накопления нейтронов между эмиттером и окошком ловушки можно вводить пластину из отражающего ультрахолодные нейтроны материала. Регистрацию нейтронов можно производить также через это окошко, располагая снаружи ловушки счётчик ультрахолодных нейтронов на месте, где при накоплении размещался эмиттер. В ловушке, естественно, будут накапливаться нейтроны со скоростями в пределах от v_{ip} для алюминия до v_{ip} , соответствующей материалу внутреннего покрытия стенок ловушки. Разумеется, возможно размещение эмиттера внутри ловушки; в этом случае по окончанию про-

цесса накопления он должен закрываться отражающей нейтроны пластиной (без нарушения вакуума в ловушке). Для уменьшения активации ловушки в потоке нейтронов её надо делать по возможности тонкостенной и пользоваться окошком с достаточно большой площадью, чтобы уменьшить время накопления.

Таким образом, хотя описанным методом практически невозможно накопление нейтронов в количествах, достижимых при использовании метода, предложенного в работе⁵, тем не менее накопление нейтронов на стационарном реакторе весьма привлекательно, как с точки зрения простоты конструкции ловушки, так и возможности накопления количеств ультрахолодных нейтронов, вполне достаточных для проведения многих экспериментов.

В заключение авторы пользуются возможностью выразить глубокую благодарность А.Д. Галанину и М.В. Казарновскому за участие в обсуждении проблемы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гуревич И.И., Тарасов Л.В. Физика нейтронов низких энергий. Изд. "НАУКА" (1965).
2. Зельдович И.Б. ЖЭТФ, 36, 1952 (1959).
3. Владимирский В.В. ЖЭТФ, 39, 1062 (1960).
4. Луцкий В.И., Покотиловский Ю.Н., Стрелков А.В., Шапиро Ф.Л. Письма в ЖЭТФ, 9, 40 (1969).
5. Антонов А.В., Исаков А.И., Казарновский М.В., Солодилов В.Е. Препринт ФИАН, № 98 (1969).
6. Антонов А.В., Исаков А.И., Казарновский М.В., Солодилов В.Е. Письма в ЖЭТФ, 10, 380 (1969).
7. Антонов А.В., Буль Д.Е., Гранаткин В.В., Казарновский М.В., Меркульев Ю.А., Солодилов В.Е. Препринт ФИАН, № 31 (1969).