

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ В УГЛОВОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ УХН ЗА СЧЕТ ПОГЛОЩЕНИЯ УХН СТЕНКАМИ ЛОВУШКИ

А.В. Антонов, Б.И. Горячев, А.И. Исаков, Н.В. Линькова

УДК 539.125.5

*Методом Монте-Карло проведен анализ углового и пространственного распределений УХН в медной цилиндрической ловушке при различных условиях поглощения УХН в стенках ловушки.*

В численных экспериментах, выполненных методом Монте-Карло, была замечена слабая анизотропия в угловом распределении УХН, обусловленная поглощением нейтронов в стенках ловушки /1/. В настоящей работе приводятся результаты численного эксперимента, в котором исследована зависимость такой анизотропии от величины  $\eta = \text{Im}u/\text{Re}u$ , где  $u$  – оптический потенциал стенок ловушки. Соответствующая методика расчетов описана ранее /2, 3/. Параметры расчетов и закон отражения УХН от стенок ловушки те же, что в /3/. Параметр  $\eta$  принимал значения  $7,5 \cdot 10^{-4}$ ,  $3,73 \cdot 10^{-3}$ ,  $7,6 \times 10^{-3}$ ,  $1,95 \cdot 10^{-2}$ . В результате время жизни УХН в ловушке  $\tau_a$  изменялось от величины, типичной для экспериментов с медной ловушкой, до значения, близкого ко времени релаксации  $\tau_r$ , характеризующего скорость изотропизации углового распределения УХН под влиянием диффузного рассеяния нейтронов на стенках ловушки /3/. Программа численных расчетов предусматривала построение угловых распределений УХН по  $\cos^2 \theta$  для всех поверхностей ловушки и временных спектров (по времени жизни нейтронов), начиная с минимального числа соударений нейтронов  $L_{\min}$  со стенками ловушки. Величина  $L_{\min}$  также варьировалась, принимая значения: 50, 100 и 200. В расчетах учитывалось влияние гравитации на траектории УХН и убыль нейтронов за счет бета-распада. При каждом наборе параметров  $\eta$  и  $L_{\min}$  для получения хорошей статистической точности прослеживалось от  $6 \cdot 10^3$  до  $1,5 \cdot 10^4$  историй нейтронов.

Типичные угловые распределения УХН на боковой поверхности цилиндрической ловушки при  $L_{\min} = 100$  представлены на рис. 1. В отсутствие поглощения это распределение изотропно. При наличии поглощения возникает анизотропия в угловом распределении УХН, причем преобладают нейтроны, падающие на боковую поверхность под малыми углами скольжения.

Для количественной характеристики анизотропии удобно ввести параметр  $\xi = (\cos^2 \theta - 0,5)/0,5 \cdot 2/$ . Зависимость  $\xi$  от  $\eta$  дана на рис. 2. В пределах статистических ошибок функция  $\xi(\eta)$  может быть аппроксимирована линейной зависимостью (прямая линия на рис. 2)

$$\xi = \xi_{\eta} \eta, \quad (1)$$

где  $\xi_{\eta} = - (4,1 \pm 0,3)$  определено по методу наименьших квадратов.

Рис.1. Угловое распределение УХН, падающих на боковую поверхность ловушки в отсутствие поглощения (1), при  $\eta = 7,6 \cdot 10^{-3}$  (2) и при  $\eta = 1,95 \cdot 10^{-2}$  (3). Гистограммам 1 и 2 отвечает левая шкала ординат, гистограмме 3 – правая. Пунктиром показаны статистические ошибки. Скорость УХН равна 4,25 м/с на уровне дна ловушки

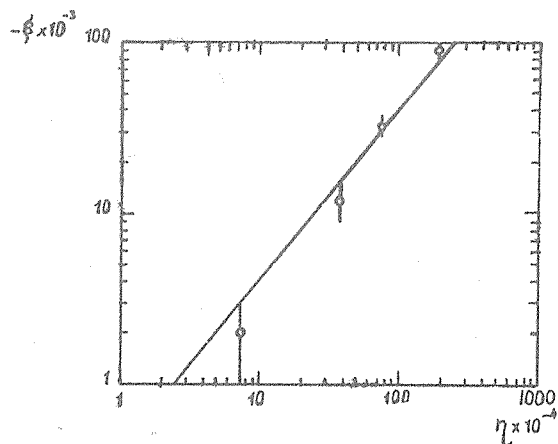
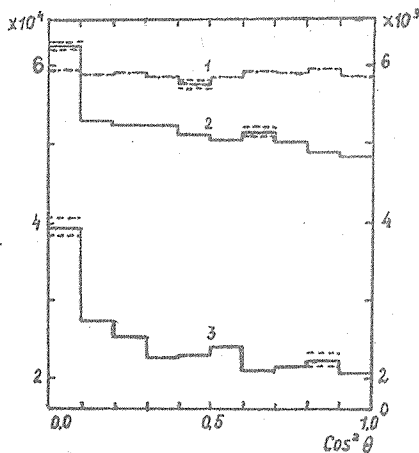


Рис.2. Зависимость параметра анизотропии  $\xi$  от величины  $\eta$

Естественно предположить, что величина  $\xi$  зависит от отношения  $\tau_a$  к  $\tau_r$ . Так как  $\tau_a = L_a \tau_0$  и  $\tau_r = L_r \tau_0$ , где  $\tau_0$  — среднее время между двумя последовательными соударениями УХН со стенками ловушки,  $L_a$  — среднее число соударений за время жизни нейтрона, а  $L_r$  — среднее число соударений за время  $\tau_r$ , то  $\xi$ , согласно сделанному предположению, есть функция отношения  $L_a/L_r$ . Последнее отношение зависит от размеров ловушки только при наличии гравитации. Поэтому в пренебрежении влиянием гравитации на  $\tau_a$  можно использовать параметризацию (1) для оценки эффекта анизотропии для всех цилиндрических ловушек, имеющих минимальную поверхность при фиксированном объеме (т.е. когда диаметр ловушки равен ее высоте)

В численном эксперименте регистрировалось число соударений УХН с элементами поверхности ловушки. Такие данные были получены, в частности, для пяти равных по площади кольцевых зон нижнего основания ловушки. Анализ этих данных показывает, что по мере роста  $\eta$  происходит относительное увеличение плотности УХН вблизи боковой поверхности ловушки. Введем параметр  $\xi$ , характеризующий степень неоднородности распределения плотности УХН по радиусу основания  $\xi = (r^2 - r_0^2)/r_0^2$ , где в качестве весовой функции при усреднении берется плотность УХН, а  $r_0^2$  означает среднеквадратичный радиус при однородном распределении плотности. Данные численного эксперимента могут быть выражены функцией  $\xi = \xi_\eta \eta$ , где  $\xi_\eta = 2,0 \pm 0,45$ .

Отмеченные особенности фазовой плотности УХН могут быть интерпретированы как результат повышенной вероятности "выживания" в условиях поглощения для группы нейтронов, соударяющихся как с боковой поверхностью, так и с плоскостью дна ловушки при малых углах скольжения. Это нейтроны, движущиеся по "винтовым" траекториям вблизи боковой поверхности ловушки. Особенность таких траекторий состоит в том, что при законе диффузного отражения типа  $\cos^2 \theta$  соответствующие УХН имеют малую вероятность испытать диффузное рассеяние и отражаются в основном зеркально, сохраняя малую величину компоненты скорости, перпендикулярной к поверхности ловушки. Благодаря этому вероятность их поглощения в стенках ловушки мала по сравнению с другими нейтронами, обладающими большими углами скольжения.

В пределах точности расчетов не удалось получить зависимость  $\xi$  от  $L_{\min}$ . Была проанализирована зависимость  $\xi$  от высоты  $h$  в ловушке. При этом использовались данные по угловым распределениям УХН в пяти кольцевых зонах на боковой поверхности, различающихся средним значением  $h$ . Оказа-

лось, что величина  $\xi$  падает по мере увеличения высоты  $h$ . Этот факт объясняется влиянием гравитации. С ростом  $h$  уменьшается число траекторий в фазовом пространстве, поэтому угловое распределение нейтронов становится более гладким.

При обработке временных спектров методом наименьших квадратов были получены величины  $\lambda_a \equiv \tau_a^{-1}$  для определения поправки  $\Delta\lambda_a$  за счет анизотропии. Точность численного эксперимента недостаточна для определения зависимости  $\Delta\lambda_a/\lambda_a$  от  $\eta$ . Однако при увеличении  $\eta$  величина  $\lambda_a$  также увеличивается по сравнению со случаем изотропного углового распределения УХН. Линейная аппроксимация приводит к соотношению  $\Delta\lambda_a/\lambda_a \sim 7\eta$ . Таким образом, для типичных случаев ( $\eta < 10^{-3}$ ) поправка к величине  $\lambda_a$  за счет эффекта анизотропии не превышает долей процента.

Поступила в редакцию 4 июля 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.В. Линькова, Канд. диссертация, ФИАН, 1983 г.
2. А.В. Антонов и др., Препринт ФИАН № 260, М., 1981 г.
3. А.В. Антонов и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 8, 41 (1982); Препринт ФИАН № 133, М., 1982 г.