

ОПЫТЫ ПО ХРАНЕНИЮ НЕЙТРОННОГО ГАЗА НА ИМПУЛЬСНОМ
РЕАКТОРЕ АПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, Н. В. Линькова, Б. Г. Ляценко.
В. И. Микеров, Ю. Б. Шаров

УДК 539.074

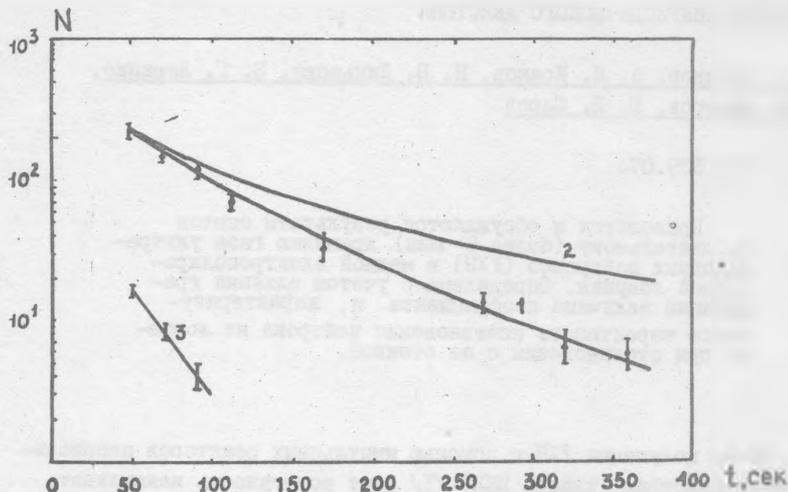
Приводятся и обсуждаются результаты опытов по длительному (более 6 мин) хранению газа ультрахолодных нейтронов (УХН) в медной электрополированной ловушке. Определена с учетом влияния гравитации величина коэффициента η , характеризующего вероятность исчезновения нейтрона из ловушки при столкновении с ее стенкой.

Метод получения УХН с помощью импульсных реакторов аperiodического действия (класса ИИН) /1/ дает возможность накапливать в ловушках значительное количество нейтронов, обеспечивая одновременно их высокую плотность, и проводить исследования в условиях низкого уровня нейтронного фона. Это открывает новые перспективы развития исследований с УХН, в частности, для изучения эволюции параметров нейтронного газа при длительном его хранении и выяснения причин наблюдающейся аномальной утечки нейтронов из ловушки.

Представленные в настоящей работе результаты опытов по хранению нейтронного газа были получены на экспериментальной установке, конструкция которой подробно описана в работах /2,3/. Нейтронная ловушка представляет собой цилиндр из электрополированной меди высотой 40 см и диаметром 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 /4/. В процессе хранения отверстия закрыты медными шторками.

В проведенных опытах измерялось количество УХН, оставшихся

в ловушке после определенного времени их хранения. Время хранения t измерялось в пределах от 50 с до 360 с. При каждом значении t эксперимент повторялся несколько раз с тем, чтобы проверить воспроизводимость результатов и обеспечить необходимую



Р и с. 1. Зависимость числа зарегистрированных УХН от времени их хранения. 1, 2 — теоретические кривые, рассчитанные, соответственно, с учетом влияния гравитации и в пренебрежении ей, 3 — нейтронный фон

статистическую точность. Максимальное число УХН, зарегистрированных в единичном опыте при $t = 50$ с, было 220. Измеренное в каждом опыте число нейтронов относилось к зарегистрированному монитором потоку быстрых нейтронов, облучающих поверхность замедлителя установки. (Монитором служили пороговые серные детекторы $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$). В результат вносилась поправка, учитывающая фон. При $t = 50$ с поправка составляла $\sim 10\%$, а при больших t становилась значительно меньше.

На рис. 1 представлена зависимость числа зарегистрированных нейтронов N от времени хранения t . Вследствие преимущественного исчезновения из ловушки нейтронов больших скоростей эта зависимость отличается от экспоненциальной и не может быть хорошо

описана каким-либо одним эффективным средним временем жизни нейтронов. Время τ , определяемое по начальному участку кривой, равно 56 ± 2 с; на конечном участке оно существенно больше и составляет 135 ± 15 с. В работе /5/ также наблюдалось отклонение экспериментальных точек от экспоненциального закона, приводящее к некоторому возрастанию эффективного времени жизни нейтронов с увеличением t . В описываемых опытах, благодаря накоплению в разовом эксперименте значительного ($\sim 5 \cdot 10^3$) числа нейтронов и низкому уровню нейтронного фона (кривая 3 рис. 1), эволюция нейтронного газа наблюдалась до весьма больших времен (≥ 6 мин). Вследствие этого эффект возрастания времени жизни был более значительным (τ увеличилось в 2,5 раза). При обработке экспериментальных данных были учтены эффекты, связанные с уменьшением средней скорости нейтронов в процессе их хранения: изменение эффективности детекторов и доли нейтронов, выбивающихся из ловушки через отверстия на детекторы.

Для оценки коэффициента $\eta = (Im U/Re U)$ (U - потенциал стенок ловушки), характеризующего вероятность исчезновения нейтрона из ловушки при столкновении с ее стенкой, был выполнен теоретический расчет зависимости числа оставшихся в ловушке нейтронов N от времени их хранения t . В соответствии с условиями впуска УХН в ловушку предполагалось, что минимальная скорость нейтронов на уровне верхнего основания (вход в ловушку) практически равна нулю, а спектр нейтронов описывается начальным участком максвелловского распределения. Принимая за нулевой уровень отсчета нижнее основание ловушки, запишем $N(t)$ в виде

$$N(t) = A \int_{E_g}^{E_{ГР}} \sqrt{E - E_g} \exp(-t\lambda(E)) dE, \quad (I)$$

где 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; A - нормировочная константа; $\lambda(E)$ - вероятность исчезновения нейтрона из ловушки в единицу времени, учитывающая поглощение нейтрона в стенках ловушки и β - распад нейтрона. Экспериментальные результаты настоящей работы могут быть удовлетворительно описаны теоретической кривой $N(t)$, полученной без учета гравитации ($E_g = 0$),

при значении $\eta \sim 10^{-2}$. Однако это существенно превышает величину η , полученную, например, в экспериментах Штейерля /6/, где $\eta \approx 7 \cdot 10^{-4}$. В /6/ роль гравитации менее существенна, так как высота ловушки в два с лишним раза меньше, чем в данном эксперименте. Расчет, проведенный согласно /7/ в предположении неизотропности распределения УХН в объеме ловушки, показал, что экспериментальные результаты хорошо описываются теоретической зависимостью $N(t)$, полученной при значении $\eta = (7,5 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ (рис. 1, кривая 1). Найденное оптимальное значение η близко к величине, которая может быть рассчитана из данных /6/. Теоретическая кривая $N(t)$, рассчитанная с таким значением $\eta = (7,5 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$, но без учета гравитации, совершенно не отвечает настоящему эксперименту (кривая 2). Расчет по модели /8/ в предположении изотропии распределения нейтронов в ловушке дает оптимальное значение $\eta = (8,2 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$. Значение $\eta = 7,5 \cdot 10^{-4}$ заметно отличается от $\eta = (0,32 \pm 0,54) \cdot 10^{-3}$, полученных в работе /5/. Причины расхождения пока не ясны. По-видимому, они могут быть связаны с различием в спектрах и угловых распределениях нейтронов в ловушках. Не исключено влияние "качества" поверхностей ловушек и некоторых других факторов (например, гравитации, которая в цитированных работах не учитывалась, или характера зависимости эффективности детекторов от энергии). Несмотря на расхождение между значениями η , полученными различными авторами, все эти значения в несколько раз больше, чем теоретически ожидаемое для медных ловушек ($\eta = 0,14 \cdot 10^{-3}$).

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Н. Г. Басову, Д. В. Скобельцыну и В. И. Рогову за постоянное внимание, помощь и поддержку данной работы. Авторы благодарны О. А. Лангер за помощь в расчетах.

Поступила в редакцию
9 марта 1978 г.

Л и т е р а т у р а

Г. А. И. Смирнов, В. М. Талызин, В. Е. Хвостюнов, Препринт ИАЭ
№ 1692, 1966 г.

2. А. В. Антонов и др., Краткие сообщения по физике ФИАН, № 12, 38 (1976).
3. А. В. Антонов и др., Письма в ЖЭТФ, 24, вып. 6, 387 (1976).
4. А. В. Антонов и др., Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 17 (1974).
5. Л. В. Грошев и др., Материалы 2 Всесоюзной конференции по нейтронной физике. Киев, 1973 г., ч. 4, стр. 264.
6. А. Штейерл, Труды II Международной школы по нейтронной физике, изд. ОИЯИ Дубна, Алушта, 1974 г.
7. А. В. Антонов, Б. И. Горячев, А. И. Исаков, Н. В. Линькова, Препринт ФИАН, № 178, 1978 г., Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 27 (1978).
8. В. К. Игнатович, Г. И. Терехов, Сообщения ОИЯИ Р-4-9567, 1976 г.