

## НАБЛЮДЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

В.И.Луцкий, Д.Н.Покотилоский, А.В.Стрелков,  
Ф.Л.Шапиро

30

В 1959 г. Я.Б.Зельдович [1] показал, что нейтроны со скоростями в диапазоне до  $10 \text{ м/сек}$ , испытывающие полное отражение от стенок при любых углах падения, могут храниться в замкнутой полости. Как было недавно отмечено [2], идея хранения нейтронов открывает путь повышения точности измерения электрического дипольного момента нейтрона, что актуально для проблемы несохранения  $CP$ -четности. В связи с этим мы предприняли экспериментальную проверку возможности извлечения и удержания ультрахолодных нейтронов.

Расположение опыта представлено на рис. 1. Источником нейтронов служил импульсный реактор ИБР [3], работавший на средней мощности  $6 \text{ кэВ}$  при частоте повторения вспышек один раз в  $5 \text{ сек}$ . Поток тепловых нейтронов в полиэтиленовом замедлителе 3 составлял  $1,6 \cdot 10^{10} \text{ нейтрон/см}^2 \cdot \text{сек}$ . Этот замедлитель помещался в стандартной медной трубе 4 внутренним диаметром  $9,4 \text{ см}$  и длиной  $10,5 \text{ м}$ , внутренняя поверхность которой была протравлена до блеска; в трубе поддерживался вакуум  $5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт.ст.}$  Нейтронные детекторы 11,12, представлявшие собой фотоумножители ФЭУ-13, покрытые сцинтилирующим слоем  $\text{ZnS}$  и тонким слоем соединения лития ( $0,05 \text{ мг/см}^2 \text{ Li}^6$ ; использовался литий с 80-процентным содержанием  $\text{Li}^6$ ), помещались на изогнутом конце трубы 4 вне прямой видимости из замедлителя. До них могли доходить практически только нейтроны, вылетающие из замедлителя 3 со скоростями меньшими

$$V_{\text{гр}} = 2\hbar / m(\pi N b)^{1/2}. \quad (1)$$

В уравнении (1)  $m$  — масса нейтрона,  $N$  — число ядер в  $1 \text{ см}^3$ ,  $b$  — когерентная длина рассеяния. Для меди  $V_{\text{гр}} = 5,7 \text{ м/сек}$ . Через каждые  $200 \text{ сек}$  детекторы поочередно закрывались тонкой медной шторкой, которая была практически прозрачна для нейтронов с нормальной

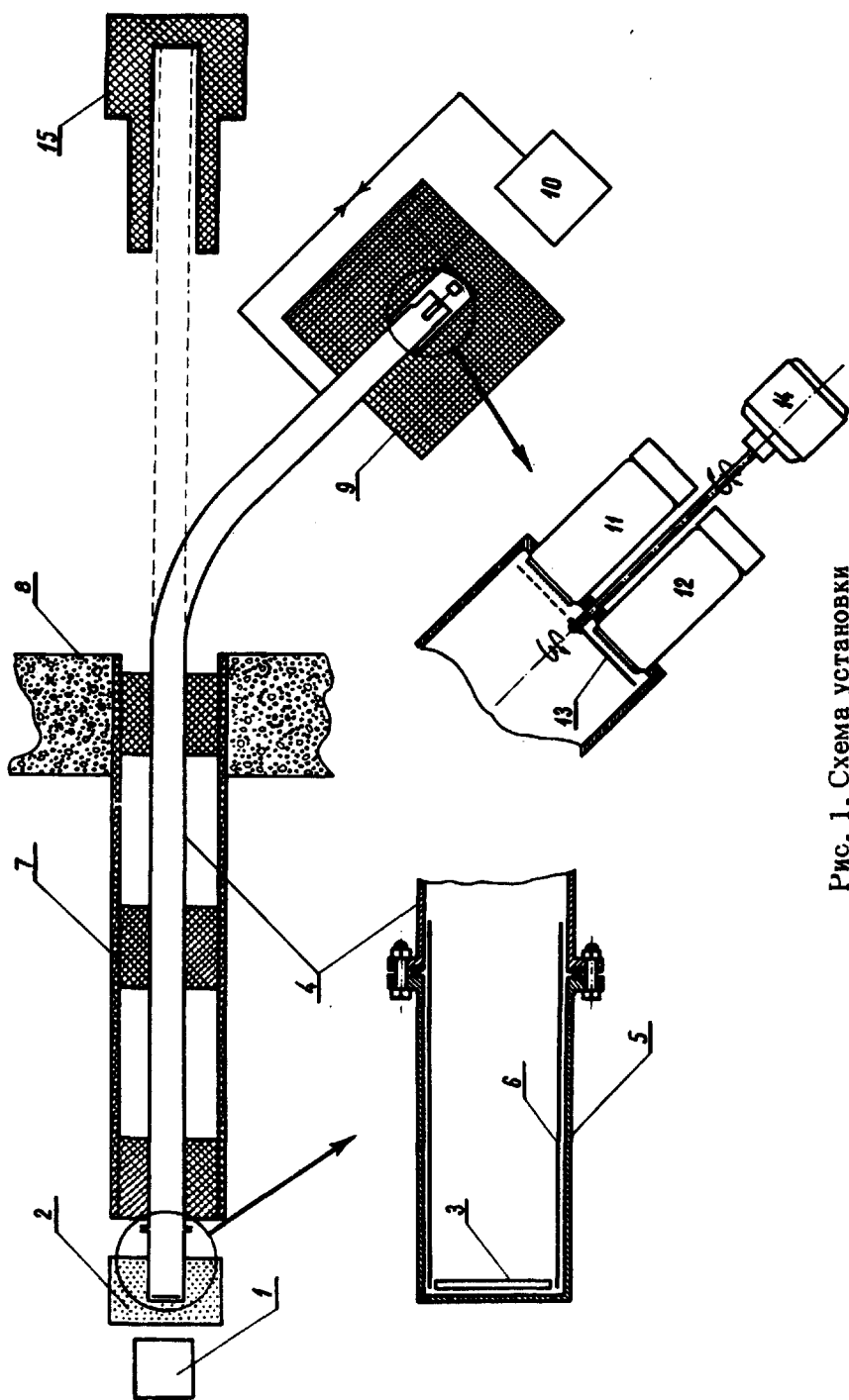


Рис. 1. Схема установки

1 — реактор ИБР; 2, 3 — замедлитель (2 — парафин, 3 — слой полиэтилена толщиной 1 мм); 4 — медная труба внутренним  $\phi$  9,4 см, полной длиной 10,5 м; 5 — алюминиевая труба; 6 — цилиндр из медной фольги; 7 — защита (парафин с карбидом бора); 8 — 2-метровая бетонная стена зала реактора; 9 — защита детектора (парафин); 10 — система откачки и наполнения трубы; 11, 12 — детекторы (ФЭУ-13 со слоями ZnS или ZnS + соединение лития); 13 — медная штorkа (зазор между штorkой и детектором < 1 мм); 14 — ловушка перемещения штorkи; 15 — механизм прямого лущка

слагающей скорости, большей  $V_{гр}$ , но должна была полностью отражать нейтроны при  $V < V_{гр}$ . Импульсы детекторов подавались на пересчетные схемы, которые для уменьшения фона запирались на 0,3 – 0,7 сек после каждой вспышки реактора. В части измерений импульсы подавались также на временной анализатор.

Числа отсчетов за 100 сек

Детектор <sup>1)</sup>	Толщина медной шторки, мм	Фон (детектор закрыт шторкой)	Эффект			
			открыт один детектор		открыты оба детектора	
			эксперимент <sup>2)</sup>	теория <sup>3)</sup>	эксперимент <sup>2)</sup>	теория <sup>3)</sup>
ZnS	1,8	0,20 ± 0,07	0,08 ± 0,10			
ZnS + Li F	1,8	0,41 ± 0,05	0,76 ± 0,10	0,67	0,72 ± 0,21	0,38 (0,22)
ZnS+LiOH·H <sub>2</sub> O	1,8	0,45 ± 0,05	0,73 ± 0,09	0,82 (1,33)	0,70 ± 0,20	0,62 (1,16)
ZnS+LiOH·H <sub>2</sub> O	15 <sup>4)</sup>	0,71 ± 0,06	1,0 ± 0,13			

<sup>1)</sup>Слой LiF был нанесен поверх слоя ZnS. На втором детекторе на слой ZnS накапывался водный раствор LiOH·H<sub>2</sub>O и затем вода удалялась нагревом; по-видимому, LiOH·H<sub>2</sub>O находился внутри слоя ZnS, а не на его поверхности. Ввиду этого, расчет поглощения нейтронов этим детектором проводился в двух предположениях: а) отражение нейтронов от поверхности детектора определяется слоем ZnS и б) отражение определяется слоем LiOH·H<sub>2</sub>O. Результаты расчета в предположении б) приведены в скобках.

<sup>2)</sup> Приводится разность скоростей счета детектора при открытой и закрытой шторке.

<sup>3)</sup> Погрешности измерения потока тепловых нейтронов и эффективности регистрации продуктов реакции Li<sup>6</sup>(n, α) приводят к погрешности расчетных значений эффекта ±30%, не считая ошибки, вызванной неточностью использованного в расчетах допущения об изотропии углового распределения тепловых нейтронов в замедлителе 3 (рис.1).

<sup>4)</sup> Время запираения после вспышки 0,3 сек. В остальных измерениях 0,7 сек.

Результаты измерений представлены в таблице. Как видно, скорость счета детекторов уменьшалась почти в 3 раза, когда они закрывались шторкой. В то же время в измерении без литиевого слоя шторка не

влияла на скорость счета, что указывает на отсутствие заметного фона, обусловленного световыми квантами или заряженными частицами. На рис. 2 приведен временной спектр эффекта; в пределах ошибок эффект постоянен. Это согласуется с предположением, что в опыте регистрируются ультрахолодные нейтроны, диффундирующие вдоль медной

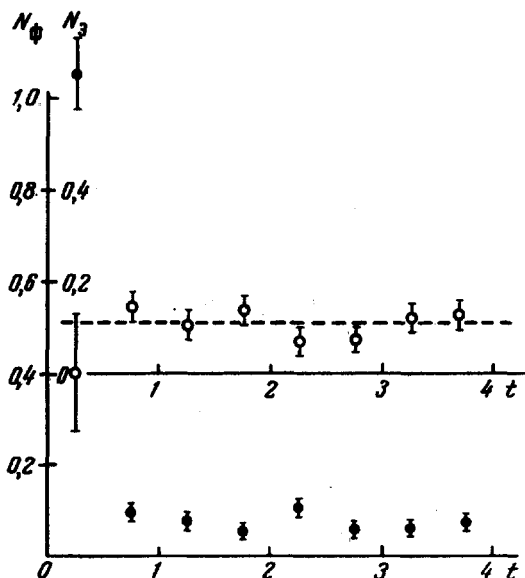


Рис. 2. Зависимость фона  $N_\phi$  (темные кружки) и  $N_3$  (светлые кружки) от времени запаздывания  $t$  (сек) относительно вспышки реактора. По оси ординат отложено число отсчетов за 100 сек

трубы в течение времени, много большего интервала между вспышками реактора. Для оценки времени диффузии было измерено влияние заполнения трубы газообразным гелием. При соударении с атомом гелия нейтрон приобретает скорость порядка средней тепловой скорости атомов гелия ( $\bar{V}_{He} = 1250$  м/сек) и выходит из трубы. Среднее время жизни нейтрона для столкновения с атомом гелия равно

$$T = (N_{He} V_{He} \sigma_{He})^{-1} \approx 250/P \text{ сек}, \quad (2)$$

где  $N_{He}$  — число атомов гелия в  $1 \text{ см}^3$ ,  $\sigma_{He}$  — полное сечение рассеяния нейтрона на покоящемся атоме (с учетом примесей, содержащихся в использованном газе,  $\sigma_{He} = 0,9 \text{ бн}$ ),  $P$  — давление гелия в мм рт.ст. Результаты опыта представлены на рис. 3. Как видно, давление 1 мм рт.ст. приводит к уменьшению эффекта примерно в 2 раза. Согласно уравнению (2) отсюда следует, что среднее время диффузии нейтронов от замедлителя до детектора составляет примерно 200 сек.

Количественный анализ описанных экспериментов проводился с помощью элементарной теории диффузии (подробнее см. [4]) при следующих предположениях: а) спектр нейтронов внутри замедлителя со-

ответствует распределению Максвелла; б) нейтроны рассеиваются на стенках трубы диффузно; в) вероятность поглощения нейтрона при ударе о шероховатую стенку трубы или детектор такая же, как для идеальной плоскости.

Экспериментальные данные, если и отличаются от предсказаний теории, приведенных в таблице и на рис. 3, то не более, чем на фактор 2. К сожалению, остановка реактора на реконструкцию не позволила нам продолжить исследования.

Поток ультрахолодных нейтронов был незначителен в настоящих опытах не только из-за малой мощности реактора ИБР, но также из-за перепада давления нейтронного газа в трубе и из-за поглощения

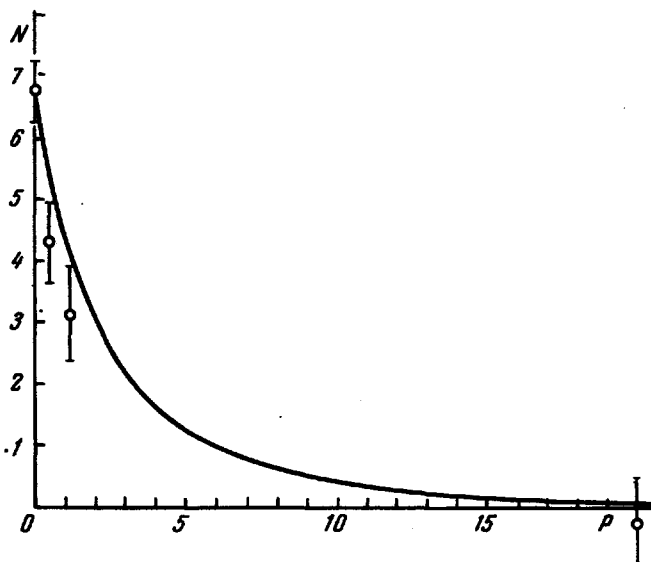


Рис. 3. Зависимость скорости счета ультрахолодных нейтронов  $N$  (отсчетов за 1000 сек) от давления гелия в трубе  $P$  (мм рт.ст.). Теоретическая кривая нормирована к экспериментальному значению  $N$  при  $P = 0$

в ее стенках. Использование зеркального нейтронотода или нейтронотода большего сечения со слабопоглощающим покрытием (например, из бериллия) позволит вывести поток ультрахолодных нейтронов, близкий к максимальной величине, равной

$$\phi = 1/8 \phi_0 (V_{гр}/V_0)^4,$$

где  $\phi_0$  — поток тепловых нейтронов у начала нейтронотода,  $V_0$  — наиболее вероятная скорость тепловых нейтронов. При комнатной темпе-

ратуре замедлителя, покрытия из бериллия ( $V_{\text{ГР}} = 6,8 \text{ м/сек}$ ) и при  $\phi_0 = 10^{14} \text{ нейтрон/см}^2\text{сек}$ ,  $\phi = 1,1 \cdot 10^3 \text{ нейтрон/см}^2\text{сек}$ , что отнюдь не мало.

Изложенные результаты доказывают, что ультрахолодные нейтроны образуются и распространяются в соответствии с теоретическими ожиданиями. Это позволяет планировать опыты по измерению периода распада нейтрона и его электрического дипольного момента. Можно полагать, что ультрахолодные нейтроны найдут и другие применения, основанные на использовании их малой энергии ( $\sim 10^{-7} \text{ эв}$ ), способности фокусироваться и других свойств.

Объединенный институт  
ядерных исследований

Поступило в редакцию  
18 ноября 1968 г.

### Литература

- [1] Я.Б.Зельдович, ЖЭТФ, 36, 1952, 1959.
- [2] Ф.Л.Шапиро, УФН, 95, 145, 1968.
- [3] Г.Е.Блохин, Д.И.Блохинцев, Ю.А. Блюмкина и др. АЭ, 10, 437, 1961.
- [4] В.И.Лушиков, Ю.Н.Покотиловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро. Препринт ОИЯИ РЗ-4127, 1968.