

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С 348 ж

3-269

P3 - 7946

2845/2-74

Ю.С.Замятин, А.Г.Колесов, Е.Н.Кулагин, В.И.Лущиков,  
В.И.Морозов, В.Н.Нефедов, Ю.Н.Покотилловский,  
А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро

ВЫСОКОПОТОЧНЫЙ РЕАКТОР СМ-2  
КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

**1974**

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

РЗ - 7946

Ю.С.Замятин,\* А.Г.Колесов,\* Е.Н.Кулагин, В.И.Лущиков,  
В.И.Морозов,\* В.Н.Нефедов,\* Ю.Н.Покотиловский,  
А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро

ВЫСОКОПОТОЧНЫЙ РЕАКТОР СМ-2  
КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

---

\* Научно-исследовательский институт атомных реакторов. (Дмитровград).

Замятин Ю.С., Колесов А.Г., Кулагин Е.Н., РЗ - 7946  
Лушиков В.И., Морозов В.И., Нефедов В.Н.,  
Покотилковский Ю.Н., Стрелков А.В., Шапиро Ф.Л.

Высокопоточный реактор СМ-2 как эффективный источник  
ультрахолодных нейтронов

Описана установка для получения УХН на горизонтальном канале высокопоточного реактора СМ-2. С учетом эффективности используемого метода регистрации оценен выведенный поток УХН, который является максимально достигнутым в настоящее время ( $\approx 10^3 \text{ сек}^{-1}$ ). За 15 дней непрерывной работы реактора не наблюдалось заметного спада выхода УХН. Делается вывод о возможности использования реактора СМ-2 в качестве эффективного источника УХН.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1974

Zamyatin Yu.S., Kolesov A.G., Kulagin E.N. PЗ - 7946  
et al.

High-Flux Reactor CM-2 as an Effective Source  
of Ultracold Neutrons

A device for production of UCN in a horizontal channel of the high-flux reactor CM-2 is described. Taking into account the efficiency of the used detection method there was estimated the extracted flux of UCN which is the maximum one obtained at present ( $\approx 10^3 \text{ sec}^{-1}$ ). Within 15 days of continuous operation of the reactor there was not observed a noticeable decay in the UCN yield. A conclusion is drawn about the possible use of the reactor CM-2 as an effective source of UCN.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1974

## ВВЕДЕНИЕ

Весьма малая энергия ультрахолодных нейтронов ( $\sim 10^{-7}$  эВ) и связанные с этим такие особенности, как большая длина волны, возможность удержания в ловушках, позволяют надеяться использовать их в ряде специфических экспериментов<sup>1,2/</sup>. Однако исключительно малая доля УХН ( $\sim 10^{-12}$ ) в спектре тепловых нейтронов реактора сильно ограничивает их потоки.

Со времени проведения первых экспериментов по извлечению УХН<sup>3/</sup>, в которых они регистрировались с интенсивностью  $0,01 \text{ сек}^{-1}$ , усилиями ряда групп было достигнуто существенное увеличение выхода УХН<sup>4-6/</sup> до величины  $\sim 10^2 \text{ сек}^{-1}$ . Одним из факторов, позволившим повысить поток УХН, было увеличение потока тепловых нейтронов на конверторе до величины  $\sim 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$  по сравнению с потоком  $1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ . Существенную роль в получении больших потоков УХН на выходе нейтроновода играют такие факторы, как использование оптимального конвертора и качество внутренней поверхности нейтроновода. Измерения<sup>4/</sup> показали, что для горизонтальных каналов длиной 5-6 м и  $\phi$  10 см, используемых в экспериментах, ослабление потока УХН от конвертора до выхода составляет 2 - 2,5 раза. Используя слабо изогнутый нейтроновод и повышая степень его зеркальности, можно еще почти вдвое поднять выводимые потоки УХН. Однако это приведет к существенному улучшению условий прохождения в нейтроноводе для нейтронов с энергиями, несколько превышающими энергию УХН, которые в основном и будут составлять фон при регистрации УХН.

Измерения выходов УХН при использовании различных конверторов<sup>/2,7,10/</sup> показали, что практически удобным конвертором является гидрид циркония. Использование более экзотических веществ, например, жидкого водорода, дающего, по расчетам, существенный выигрыш по сравнению с гидридом циркония, не представляется в настоящее время возможным по причинам, связанным с технической сложностью реализации жидководородного конвертора. Таким образом, возможным путем дальнейшего увеличения выхода УХН является увеличение потока тепловых нейтронов на конверторе, т.е. использование реакторов с потоком тепловых нейтронов  $- 10^{14} - 10^{15} \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$ . Извлечение УХН из высокопоточных реакторов связано с трудностями, обусловленными большим радиационным тепловыделением и разложением материала конвертора, более интенсивной радиационной коррозией внутренних стенок нейтроновода из-за наличия остаточного газа в канале<sup>/4,6/</sup>. Это повышает требования к теплосъему с конвертора (особенно при желании использовать конвертор, охлаждаемый до низких температур), а также к вакууму в нейтроноводе.

### ЭКСПЕРИМЕНТ

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Нейтроновод (3) был установлен в пятом горизонтальном канале (2) реактора СМ-2<sup>/9/</sup> и состоял из отрезков электрополированных внутри медных труб диаметрами 6,5 см (начальный участок длиной 1,8 м) и 9,5 см (на всех остальных участках нейтроновода) при полной длине нейтроновода 8 м. Конвертором УХН служил магний<sup>X/</sup> (4), герметично заключенный в алюми-

<sup>X/</sup> Несмотря на то, что гидрид циркония обладает большим выходом УХН, в предлагаемой конструкции в качестве конвертора использовался магний, т.к. к моменту создания нейтроновода еще не были закончены испытания гидрида циркония на радиационную стойкость в вакууме.

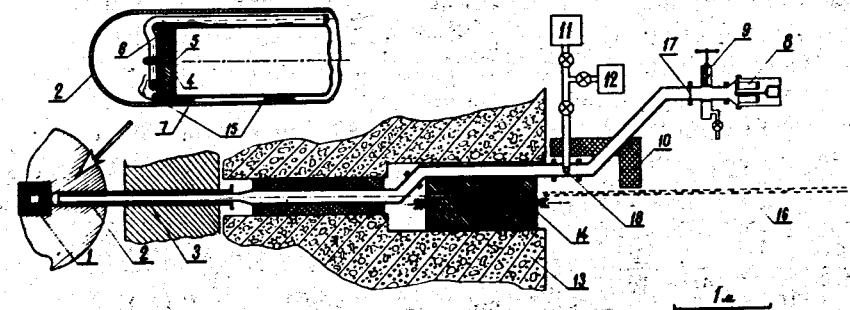


Рис. 1. Схема установки нейтроновода УХН на пятом горизонтальном канале реактора СМ-2. 1 - активная зона реактора; 2 - пятый горизонтальный канал (цирконий, внутр. диаметр 83 мм); 3 - начальный участок нейтроновода; 4 - магнийевый конвертор УХН; 5 - алюминиевая стенка толщиной ~ 0,2 мм; 6 - алюминиевая ампула; 7 - сварной шов алюминий - медь; 8 - детектор УХН; 9 - вакуумный шибер УХН; 10 - дополнительная защита; 11,12 - магнитно-электроразрядный и сорбционный насосы; 13 - защита реактора; 14 - шибер, перекрывающий прямой пучок; 15 - термопары; 16 - прямой пучок; 17 - алюминиевая фольга толщиной 60 мкм; 18 - вертикальная труба для откачки нейтроновода.

ниевой ампуле (6) с толщиной стенки (5) 0,2 мм, через которую УХН проходили в полость нейтроновода. Для улучшения теплоконтакта магния с алюминиевой ампулой пространство между ними заполнялось гелием. Для теплоотвода к алюминиевой ампуле приваривались алюминиевые трубки с внутренним диаметром 6 мм, по которым непрерывно циркулировала вода под давлением 2 - 3 атм из системы охлаждения каналов реактора. Установленные термомпары (15) контролировали температуру алюминиевой ампулы и начального медного участка нейтроновода.

Специально изготовленная конструкция шибера (14) позволила расположить первый поворот нейтроновода до подвижного барабана механизма шибера, закрывающего прямой пучок. При этом отпала необходимость в громоздкой защите от прямого пучка и осталась возможность для проведения других исследований на прямом пучке этого канала (16). Небольшая защита (10) (толщ. 20 см), установленная на выходе нейтроновода, обеспечивала на детекторе УХН достаточно малый фон и приемлемые дозиметрические условия для персонала, обслуживающего установку.

Внутренняя полость нейтроновода герметично отделялась от присоединяемых к нему объемов с помощью алюминиевой фольги (17) толщиной 60 мкм; такое разделение гарантирует хороший вакуум в полости нейтроновода. Предварительные измерения показали, что постановка такой фольги ослабляет поток УХН на 25-30%.

Установленный за алюминиевой фольгой специальный вакуумный шибер (9) позволяет разгрузить алюминиевую фольгу от перепада давлений, связанного с напуском воздуха при подсоединении к нейтроноводу детектора, сосудов для хранения УХН и других экспериментальных устройств. Через вертикальную трубу (18) диаметром 4,5 см и длиной 1,5 м нейтроновод откачивался сначала сорбционными, а затем магнитно-электроразрядными наносами до вакуума  $\sim 10^{-5}$  тор. Весь нейтроновод имел некоторую возможность продольного перемещения,

что позволяло непосредственно по счету УХН на работающем реакторе устанавливать конвертор в максимум потока тепловых нейтронов, который по оценкам составлял  $2+4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$  при мощности реактора 75 МВт.

Сцинтилляционный детектор УХН<sup>/3/</sup> состоял из пары фотоумножителей ФЭУ-13 со сцинтиллятором  $\text{ZnS}$  площадью  $20 \text{ см}^2$  и толщиной  $15 \text{ мг/см}^2$ , на который был нанесен слой  $\text{Li}^6\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  ( $\sim 1 \text{ мг.см}^{-2}$ ). Фон измерялся при закрывании детектора медной шторкой толщиной 10 мкм. В некоторых измерениях УХН регистрировались газовым пропорциональным счетчиком на основе  $^3\text{He}$  с площадью окна  $60 \text{ см}^2$ <sup>/8/</sup>.

Перед монтажом конвертора измерялось пропускание УХН через нейтроновод с двумя поворотами от начала до выхода нейтроновода из защиты реактора СМ-2. Измерения проводились на установке УХН<sup>/10/</sup> реактора ИРТ-М и показали величину пропускания  $\sim 0,25$ . Во время установки нейтроновода УХН в канале реактора нейтроновод был заполнен чистым аргоном.

При подъеме мощности реактора наблюдалось пропорциональное увеличение скорости счета УХН (рис.2). При мощности 54 МВт разогрев начального конверторного участка нейтроновода достиг  $280^\circ\text{C}$ , что послужило основанием к постепенному отодвиганию нейтроновода на несколько сантиметров от активной зоны реактора. На рис. 3 представлена зависимость скорости счета УХН и температуры наконечника нейтроновода от величины перемещения нейтроновода.

При максимальной мощности 75 МВт скорость счета сцинтилляционных детекторов составила:

- а) открытых детекторов  $95 \text{ сек}^{-1}$ ,
- б) закрытых медной шторкой  $15 \text{ сек}^{-1}$ ,
- в) при закрытом вакуумном шибере УХН (9) -  $7 \text{ сек}^{-1}$ .

Таким образом, скорость счета УХН достигала  $80 \text{ сек}^{-1}$  при 15% фоне.

Напуск атмосферного воздуха до давлений  $\sim 50$  Тор в промежуток нейтроновода  $\sim 30$  см между алюминиевой заглушкой (17) и детектором (8) ослабил поток УХН более чем в 40 раз.

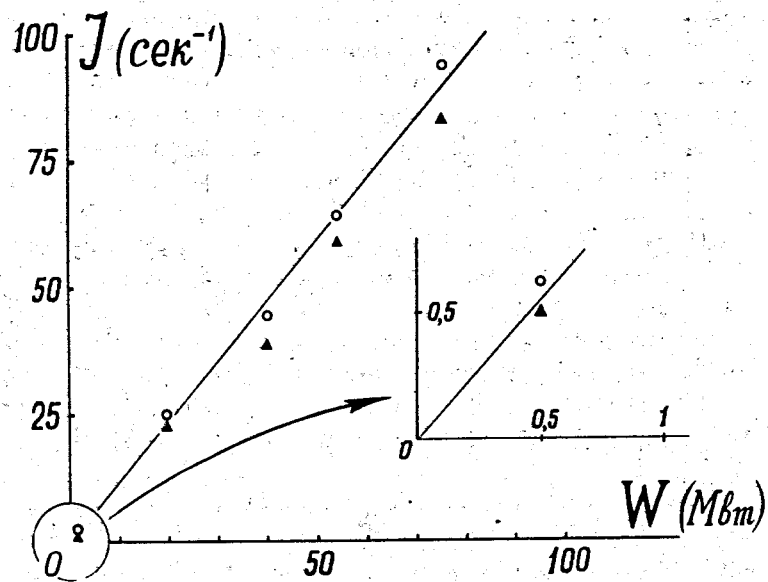


Рис. 2. Зависимость скорости счета УХН ( $J$ , сек $^{-1}$ ) от мощности реактора ( $W$ , МВт).

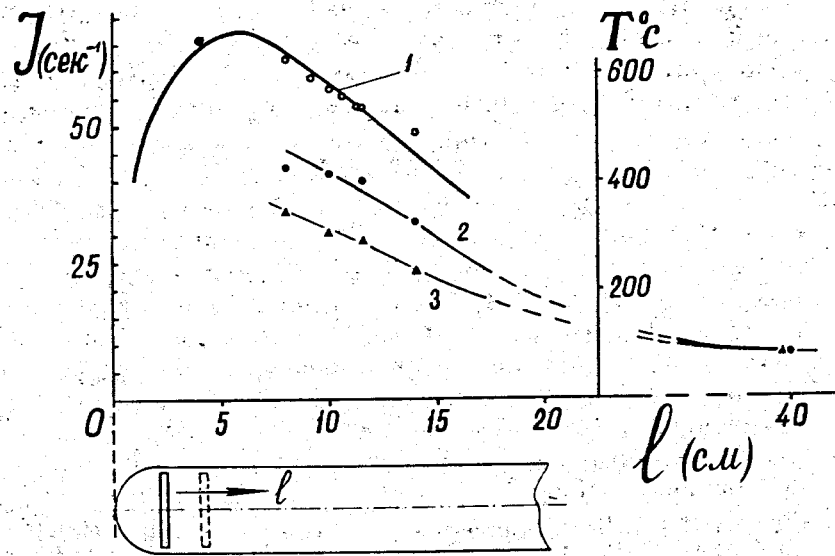


Рис. 3. 1 - зависимость скорости счета УХН ( $J$ , сек $^{-1}$ ) от перемещения конвертора вдоль оси канала при мощности реактора 54 МВт. Сплошной кривой показано относительное распределение потока тепловых нейтронов, нормированное на измеренную скорость счета УХН. 2,3 - зависимость температуры ( $T^{\circ}\text{C}$ ) начального медного участка нейтроновода и алюминиевой ампулы соответственно от перемещения нейтроновода вдоль оси канала при мощности реактора 75 МэВ.

При установлении внутри нейтронотода полиэтиленового диска площадью  $170 \text{ см}^2$  в плоскости входного окна детектора интенсивность счета УХН уменьшилась до  $29 \text{ сек}^{-1}$ . Следовательно, сцинтилляционный детектор такой же площади может регистрировать  $\sim 250 \text{ сек}^{-1}$ . Учитывая, что эффективность детектора  $\sim 0,25/10^3$ , можно заключить, что поток УХН на выходе нейтронотода составлял  $\sim 10^3 \text{ сек}^{-1}$ . Измерение потока газовым счетчиком с  $^{235}\text{U}$  при пониженной мощности показало, что поток УХН при максимальной мощности реактора должен составлять  $\sim 0,8 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ .

В течение 15 суток непрерывной работы реактора на максимальной мощности не было замечено падения интенсивности регистрации УХН. Резкое изменение теплового режима нейтронотода, вызванное сбросом мощности и последующим выходом реактора на мощность, привело к образованию течи в конверторной части нейтронотода и ухудшению вакуума до  $10^{-2} \text{ Тор}$ . При этом интенсивность регистрации УХН резко упала (в два раза). Последующие остановки и запуски реактора приводили к увеличению течи и ухудшению вакуума, что сопровождалось уменьшением интенсивности регистрации УХН (рис. 4).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные измерения показали практическую возможность извлечения УХН из высокопоточного реактора. Полученная интенсивность УХН близка к ожидаемой и составляет  $\sim 10^3 \text{ сек}^{-1}$ . Несмотря на сравнительно высокую химическую активность меди, используемый медный нейтронотод за 15 суток работы реактора заметным образом не ухудшил своих характеристик при безмасляной вакуумной откачке до давления  $\sim 10^{-5} \text{ Тор}$ . Очевидно, медь может служить материалом для изготовления нейтронотодов и на высокопоточном реакторе, однако нержавеющая сталь обладает лучшей коррозионной стойкостью, что дает ей предпочтение как материалу для нейтронотодов УХН,

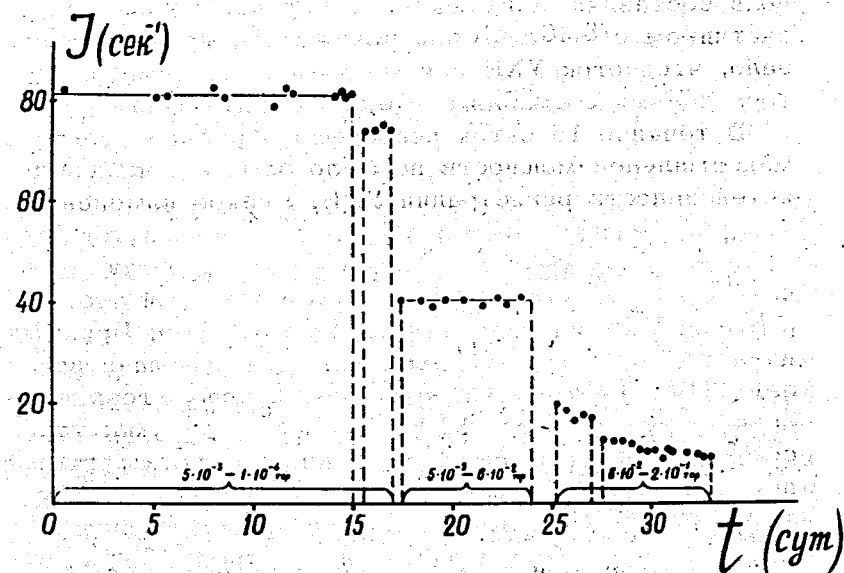


Рис. 4. Зависимость скорости счета УХН ( $J$ ,  $\text{сек}^{-1}$ ) на выходе нейтронотода от вакуумных условий и продолжительности работы реактора.



особенно в случаях аварии в вакуумной системе, сопровождающихся резким ухудшением вакуума.

В настоящее время создается новая конструкция нейтроновода УХН на реакторе СМ-2, в которой:

а) начальный участок нейтроновода изготавливается из нержавеющей стали,

б) в качестве конвертора будет использован гидрид циркония,

в) улучшены условия охлаждения конверторного участка нейтроновода,

г) улучшена откачка нейтроновода до давлений  $\sim 5 \cdot 10^{-7}$  Тор,

д) предусмотрена возможность отодвигания нейтроновода от активной зоны на расстояние  $\sim 0,5$  м на время, когда эксперименты с УХН не проводятся, что позволяет уменьшить активацию и радиационную коррозию стенок нейтроновода.

Выход УХН из гидрида циркония в 3 раза превышает выход УХН из магния, заключенного в алюминиевую ампулу/10/, поэтому на новом нейтроноводе предполагается получить поток УХН  $\sim 2 \cdot 3 \cdot 10^3$  сек<sup>-1</sup>. При такой интенсивности становится возможным детальное изучение спектра УХН, изучение поведения их в замкнутых объемах/2,4,6,10/, измерение сечений поглощения и амплитуд когерентного рассеяния нейтронов и т.д. Особенный интерес представляют опыты по прямому измерению периода полураспада нейтрона и определению его электрического дипольного момента, постановка которых при таких потоках УХН становится более эффективной.

Реактор СМ-2 по своим параметрам является самым перспективным реактором советского производства для проведения экспериментов, имеющих принципиальное значение для современной физики.

Авторы благодарны О.Д.Казачковскому и Н.М.Франку за полезные обсуждения и интерес к этой работе.

## Литература

1. Ф.Л.Шапиро. УФН 95, 145 (1968).
2. Ф.Л.Шапиро. ОИЯИ, РЗ-7135, Дубна, 1973.
3. В.И.Лушиков, Ю.Н.Покотилловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро.  
а) Письма ЖЭТФ, 9, 40 (1969),  
б) Препринт ОИЯИ, РЗ-4127, Дубна, 1968.
4. Л.В.Грошев, В.Н.Дворецкий, А.М.Демидов, В.И.Лушиков, Ю.Н.Панин, Ю.Н.Покотилловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро:  
а) ОИЯИ, РЗ-5392, Дубна, 1970.  
б) Phys. Lett., 36B, 4,293 (1971).
5. J. Robson, D. Winfield. Phys. Lett., 40B, 537 (1972).
6. В.М.Лобашов, Г.Д.Порсев, А.П.Серебров, Е.И.Егоров, В.А.Назаренко. ЯФ, 19, 300 (1974).
7. В.В.Голиков, В.И.Лушиков, Ф.Л.Шапиро:  
а) ОИЯИ, РЗ-6556, Дубна, 1972.  
б) ЖЭТФ 64, 1, 73 (1972).
8. А.В.Стрелков. ОИЯИ, РЗ-5937, Дубна, 1971.
9. Г.А.Бать, А.С.Коченов, Л.П.Кабанов. Исследовательские ядерные реакторы. Москва, Атомиздат, 1972.
10. Л.В.Грошев, В.Н.Дворецкий, А.М.Демидов, С.А.Николаев, Ю.Н.Панин, В.И.Лушиков, Ю.Н.Покотилловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро. Препринт ОИЯИ, РЗ-7282, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 мая 1974 года.