

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-954

14/5-74

P3 - 7457

170/2-74

Е.З.Ахметов, Д.К.Каипов, В.А.Конкс, В.И.Лушиков,
Ю.Н.Покотиловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ (УХН)
НА СТАЦИОНАРНОМ РЕАКТОРЕ ВВР-К

1973

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

РЗ - 7457

Е.З.Ахметов,* Д.К.Каипов,* В.А.Конкс,* В.И.Лушиков,
Ю.Н.Покотиловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ (УХН)
НА СТАЦИОНАРНОМ РЕАКТОРЕ ВВР-К

Направлено в АЭ

*Институт ядерной физики Академии наук
Казахской ССР

Объединенный институт

Ахметов Е.З., Каипов Д.К., Конкс В.А., Лушиков В.И., РЗ - 7457
Покотилковский Ю.Н., Стрелков А.В., Шапиро Ф.Л.

Получение ультрахолодных нейтронов (УХН) на стационарном реакторе ВВР-К

Описан источник ультрахолодных нейтронов, созданный на сквозном горизонтальном касательном канале стационарного реактора ВВР-К. Приводятся скорость счета УХН с конверторами из H_2O , $ZrH_{1,92}$, Mg , зависимость выхода УХН от температуры Mg -конвертора и среднее время распространения УХН по нейтроноводу от конвертора до детектора. Рассматриваются пути увеличения выхода УХН.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1973

Achmetov E.Z., Kaipov D.K., Konks V.A., РЗ - 7457
Lushchikov V.I., Pokotilovsky Yu.N.,
Strelkov A.V., Shapiro F.L.

Production of Ultracold Neutrons (UCN)
in a Stationary Reactor ВВР-К

A source of ultracold neutrons is described, formed in a straight-through horizontal tangent channel of a stationary reactor ВВР-К. There are presented the rate of counting of UCN with the converters of H_2O , $ZrH_{1,92}$, Mg , the dependence of the UCN yield on the temperature of Mg -converter and the mean time of UCN distribution on the neutron guide tube from the converter to detector. The ways of increasing the UCN yield are considered.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1973

Введение

Ультрахолодными принято называть нейтроны, испытывающие полное отражение при любых углах падения на границу вакуум-вещество /магнитное поле/, с энергиями

$$E \leq E_{гр} = \frac{h}{2\pi m} Nb \pm \mu B, \quad /1/$$

где $E_{гр}$ - энергия, соответствующая отражению нейтронов при нормальном падении на границу, N - число ядер в единице объема, b - когерентная длина рассеяния, m - масса нейтрона, h - постоянная Планка, μ - магнитный момент нейтрона, B - магнитная индукция, знаки \pm относятся соответственно к двум ориентациям μ относительно B .

Это явление полного отражения может быть использовано для выделения и хранения таких нейтронов либо за счет ядерного взаимодействия с веществом ^{/1/}, либо за счет взаимодействия с магнитным полем ^{/2/}. Выражение /1/ определяет энергетический диапазон УХН, недоступный до недавнего времени из-за трудностей, связанных с их получением.

Впервые возможность извлечения УХН и их хранения с использованием ядерного взаимодействия с веществом экспериментально доказана в работе ^{/3/} на ИБРе. Затем некоторые опыты с УХН были выполнены на радиальных каналах стационарного реактора ИРТ ^{/4/}. Нейтроны с малыми энергиями, доходящими до области УХН, использовались для проверки закона $1/v$ в работе ^{/5/}; некоторые особенности поведения УХН отмечались в работах ^{/6,7/}.

В настоящее время первоочередной задачей является создание достаточно интенсивных источников УХН, хотя здесь еще не пройдена методическая стадия. Для получения УХН, проведения методических и научных исследований реактор ВВР-К обладает рядом благоприятных особенностей. В частности, сквозной, касательный к активной зоне реактора канал сравнительно большого диаметра /193 мм/ позволяет за счет увеличения рабочей площади конвертора и детектора УХН, а также за счет уменьшения потерь УХН при их транспортировке по нейтроноводу повысить эффективность источника.

В настоящей статье описана установка для получения УХН на сквозном горизонтальном касательном канале реактора ВВР-К и первые результаты работы.

Установка

Схема установки для получения ультрахолодных нейтронов на сквозном касательном канале реактора ВВР-К представлена на рис. 1.

В сквозной касательный канал диаметром 193 мм вставлена алюминиевая труба /7/ наружным диаметром 187 мм с толщиной стенки 3 мм и длиной около 8 м. С одной стороны трубы в центре канала помещается корпус конвертора-источника УХН /8/ ϕ 175 мм, к которому по трубкам проводится либо жидкий азот из системы охлаждения /9/ при твердом замедлителе, либо жидкий замедлитель. Для извлечения УХН от конвертора в нейтроноводу использованы полированные последовательно химическим и электролитическим способами медные поверхности. В трубу /7/ с другой стороны до середины канала вставляются медные цилиндры ϕ 175 мм, изготовленные из листовой меди толщиной 0,5 мм. Затем к этой трубе на фланцах последовательно подсоединены медные участки нейтроновода /11-14/, выполненные из медных труб марки М2 диаметром 200 мм. Алюминиевая труба /16/ с вакуумной заглушкой служит для уменьшения фона рассеянных нейтронов с энергией $E > E_{гр}$ прямого пучка. Для отражения УХН с $E \leq E_{гр}$ между /11/ и /16/ поме-

щается медная фольга /15/ толщиной 50 мкм с небольшим отверстием для откачки отсеченного ею объема /8/.

При диффузном распространении нейтронов по нейтроноводу нет существенной разницы между плавным изгибом трубы, как в работах /3, 4/, и прямым поворотом, использованным здесь.

Откачка всей системы производится диффузионным агрегатом ВА-05-4 через вертикальную медную полированную внутри трубу /17/ диаметром 135 мм. Чтобы исключить попадание паров масла на медные поверхности и на конвертор, установлены азотная и полупроводниковая ловушки. Рабочий вакуум в системе $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. Общая длина медного нейтроновода немногим более 6 м.

Для защиты /18/ от излучения реактора используются стальные баки с парафином и карбидом бора, бетонные плиты и стальные вставки с водой.

УХН от конвертора /8/ транспортируются по нейтроноводу к детекторной системе /19/. В кожухе детекторной системы размещаются два фотоумножителя ФЭУ-13 со сцинтиллятором ZnS , покрытым тонким слоем соединения лития / $\sim 0,05$ мг/см² 6Li /, обогащенного изотопом 6Li /3/. Детекторы поочередно закрываются тонкой /10 мкм/ медной шторкой. Импульсы с детекторов подаются через усилители и дискриминаторы на пересчетные схемы или на многоканальный анализатор импульсов /АИ-100/.

В некоторых измерениях в нейтроновод запускался гелий высокой чистоты из системы наполнения /20/.

Измерения и обсуждение

Для расчета ожидаемого выхода УХН и наведенной активности в узлах установки измерено распределение потока нейтронов вдоль касательного канала методом радиоактивных индикаторов /8/. Для относительных измерений использовались медные индикаторы /диаметром 5 мм и толщиной 15 мкм/. Абсолютные значения величины потока нейтронов получены из измерений с золотыми индикаторами толщиной 0,26 мг/см² на концах касатель-

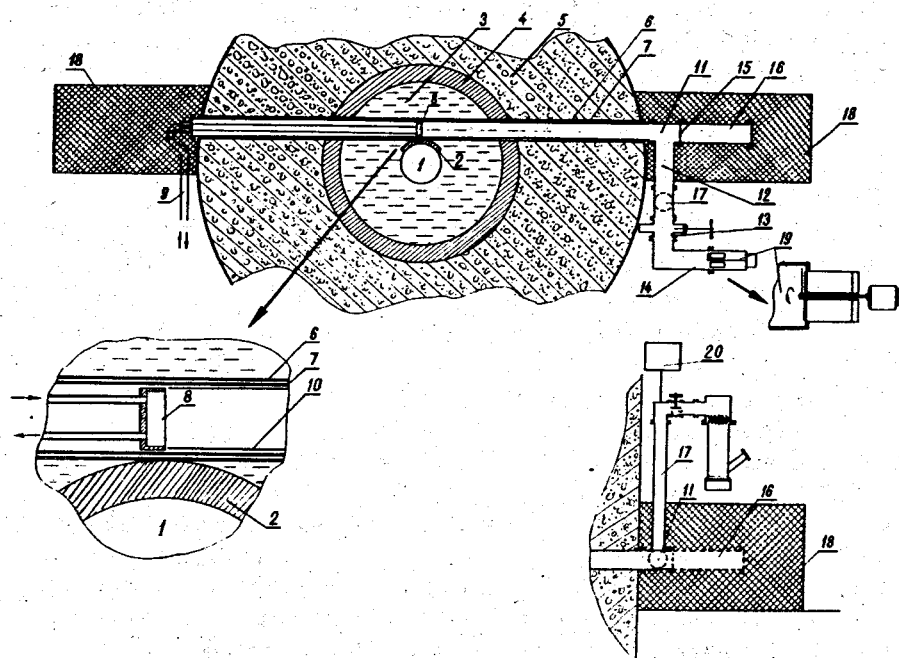


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - активная зона реактора; 2 - слой свинца толщиной 50 мм; 3, 4, 5 - соответственно водяная, чугунная и бетонная защита реактора; 6 - сквозной касательный канал реактора; 7 - алюминиевая труба; 8 - конвертор УХН; 9 - система охлаждения конвертора; 10 - медные цилиндры; 11, 12, 13, 14 - медные участки нейтронвода; 15 - медная фольга; 16 - алюминиевая труба; 17 - вертикальный участок нейтронвода для вакуумной откачки; 18 - защита прямого пучка; 19 - детектор УХН; 20 - система наполнения и контроля давления гелия.

ного канала и в одном из вертикальных каналов. Распределение потока тепловых нейтронов определялось из измерений с индикаторами в кадмиевых чехлах и без них.

На рис. 2 представлено распределение потока тепловых

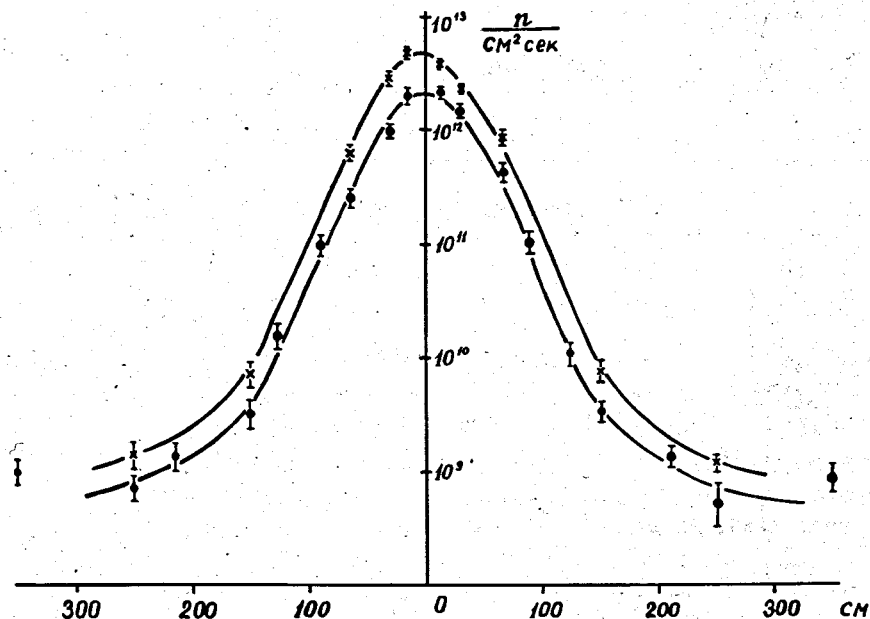


Рис. 2. Распределение потока тепловых нейтронов вдоль сквозного касательного канала реактора при двух конфигурациях активной зоны реактора.

нейтронов вдоль касательного канала. Поток тепловых нейтронов в центре канала $2,4 \pm 0,3 \cdot 10^{12}$ н/см² сек и $4,8 \pm 0,4 \cdot 10^{12}$ н/см² сек соответственно при двух конфигурациях активной зоны реактора. Указаны среднеквадратичные ошибки измерения с учетом ошибки нормировки. Постановка внутри канала водяного замедлителя диаметром 175 мм и длиной 300 мм вопреки ожиданиям, не привела к заметному увеличению потока тепловых нейтронов.

Энергетический спектр нейтронов в касательном канале не измерялся.

Если считать, что в конверторе устанавливается максвелловское распределение нейтронов по энергиям со значением $E = kT$, то, согласно [4], максимальный поток УХН есть

$$\phi_{\text{УХН}} = \frac{1}{8} \phi_0 \left(\frac{E_{\text{ГР}}}{E_{\text{Н}}} \right)^2 \frac{\sigma_{\text{охл}}}{\sigma_{\text{а}} + \sigma_{\text{нагр}}}, \quad /2/$$

где ϕ_0 - поток тепловых нейтронов, $E_{\text{ГР}}$ - граничное значение энергии, T - эффективная температура спектра падающих нейтронов, $\sigma_{\text{охл}}$ - сечение рассеяния с передачей энергии от нейтрона конвертору при рассеянии, $\sigma_{\text{нагр}}$ - сечение рассеяния с передачей энергии нейтрону от конвертора при рассеянии, $\sigma_{\text{а}}$ - сечение захвата нейтрона. Например, для алюминиевого конвертора при 400°К поток УХН вблизи конвертора равен $5 \text{ н/см}^2 \text{ сек}$, что с учетом пропускания нейтронов $\approx 0,2/$ удовлетворительно согласуется с наблюдаемым значением потока УХН на выходе нейтроновода.

На установке, описанной выше, впервые УХН получены и зарегистрированы в июле 1971 года.

В качестве конверторов УХН использовались проточная вода, пропускаемая через алюминиевый контейнер с передней стенкой 250 мкм /водяной конвертор/, гидрид циркония $\text{Zr H}_{1,9}$ и магний.

В таблице приводятся скорости счета УХН, зарегистрированные сцинтилляционным детектором с рабочей площадью 14 см^2 .

За четыре месяца работы с водяным конвертором при средней мощности реактора $2,5 \text{ Мвт}$ скорость счета УХН не менялась.

На рис. 3 представлена зависимость скорости счета УХН от температуры магниевого конвертора. Экспериментальные результаты согласуются с расчетной кривой [9].

Для оценки характера диффузии УХН от конвертора до детектора была измерена зависимость скорости счета

Таблица

Скорость счета
/в сек. на площадь детектора 14 см^2 при
мощности реактора 10 Мвт /

Конвертор	Температура конвертора, К	Фон	Эффект
$\text{Zr H}_{1,92}$	-	50 ± 1	20 ± 1
H_2O в ампуле Al	290	$3,0 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,2$
Al ампула	-	$2,0 \pm 0,3$	$4,0 \pm 0,2$
Mg	320	$5,0 \pm 0,2$	$11,2 \pm 0,4$

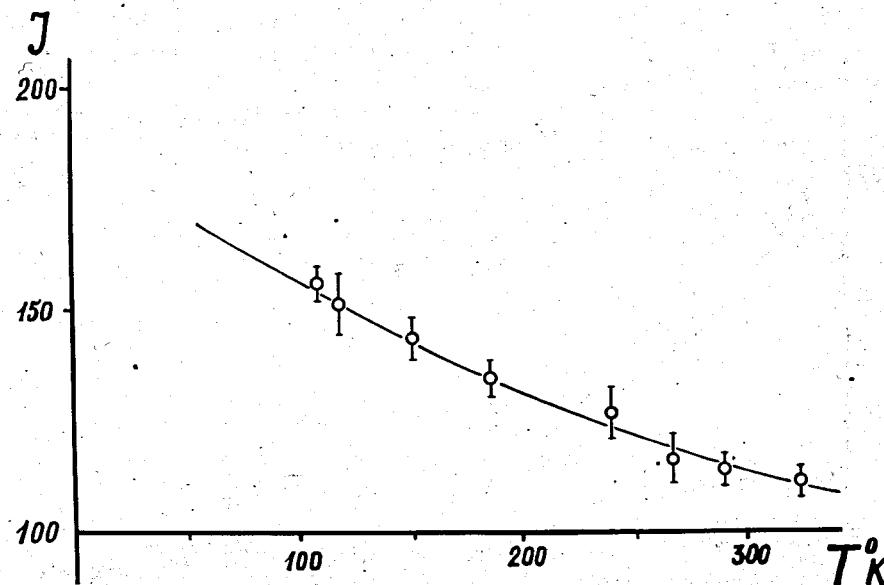


Рис. 3. Зависимость скорости счета УХН /отсчетов за 100 сек / от температуры магниевого конвертора. Теоретическая кривая нормирована к экспериментальному значению J при комнатной температуре.

УХН от давления гелия в нейтроноводе, представленная на рис. 4.

Из полученной нами зависимости $J(P_{He})$ следует, что интенсивность УХН падает вдвое при давлении гелия в нейтроноводе 60 тор.

Этот результат подтверждает данные работы [4] и может свидетельствовать о значительной доле зеркальных отражений от стенки трубы.

Вакуумный шибер, установленный между участками нейтроновода /13/ и /14/ и имеющий проходное для УХН отверстие диаметром 100 мм, уменьшил скорость счета УХН в два раза. Это также свидетельствует о том, что при распространении УХН по нейтроноводу значительна доля зеркальных отражений от стенки трубы.

В работе [4] отмечается значительное постепенное падение интенсивности регистрации УХН в течение нескольких месяцев, что, по мнению авторов, связано с ухудшением качества стенок поверхности нейтроновода

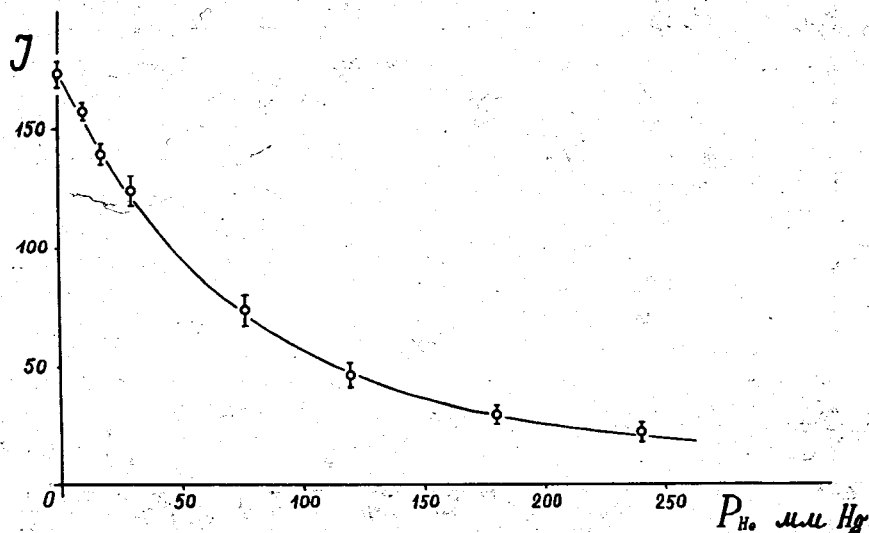


Рис. 4. Зависимость скорости счета УХН /отсчетов за 100 сек/ от давления гелия в нейтроноводе. Теоретическая кривая нормирована к экспериментальному значению J при $P = 0$.

в результате радиационной коррозии. На описываемой нами установке в течение 6 мес. не замечено уменьшения выхода УХН /при мощности реактора $\approx 2,5$ Мвт/.

Выход УХН может быть увеличен охлаждением ряда конверторов до температуры азота и за счет повышения теплового потока нейтронов вблизи конвертора. Эффективность установки в целом может быть существенно повышена за счет применения детекторов УХН с лучшей эффективностью и большей рабочей площадью, конструктивных усовершенствований, что позволит, по предварительным оценкам, регистрировать до 10^3 ухн/сек на рабочую поверхность детектора.

Результаты измерения выходов УХН из некоторых конверторов находятся в стадии завершения и обработки.

Заключение

Изложенные результаты подтверждают выводы работы [4] о возможности извлечения УХН из каналов стационарного реактора. Благоприятные особенности установки на сквозном горизонтальном касательном канале реактора ВВР-К позволят решить ряд как методических, так и физических задач.

Авторы благодарят академика И.М.Франка за интерес к работе и всех содействовавших ее выполнению.

Литература

1. Я.Б.Зельдович. ЖЭТФ, 36, 1952 /1959/.
2. В.В.Владимирский. ЖЭТФ, 39, 1062 /1960/.
3. В.И.Лушиков, Ю.Н.Покотиловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро. Препринт ОИЯИ, РЗ-4127, Дубна, 1968; Письма в ЖЭТФ, 9, 40 /1969/.
4. Л.В.Грошев, В.Н.Дворецкий, А.М.Демидов, В.И.Лушиков, Ю.Н.Панин, Ю.Н.Покотиловский, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро. Препринт ОИЯИ, РЗ-5392, Дубна, 1970.
5. A.Steyerl. Phys.Lett., 29B, 1, 33 (1969).
6. А.В.Антонов, Б.В.Гранаткин, А.И.Исаков, М.В.Казарновский, Ю.А.Меркульев, В.Е.Солодилов. Труды ФИАН, 57, 270 /1972/.

7. А.В.Антонов, Д.Е.Вуль, М.В.Казарновский. Письма в ЖЭТФ, 9, 307/1969/.
8. Дозиметрия больших доз. Труды II координационного совещания по дозиметрии больших доз. Изд-во ФАН, Ташкент, 1966.
9. В.В.Голиков, В.И.Луциков, Ф.Л.Шапиро. Препринт ОИЯИ, РЗ-6556, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 сентября 1973 года.