



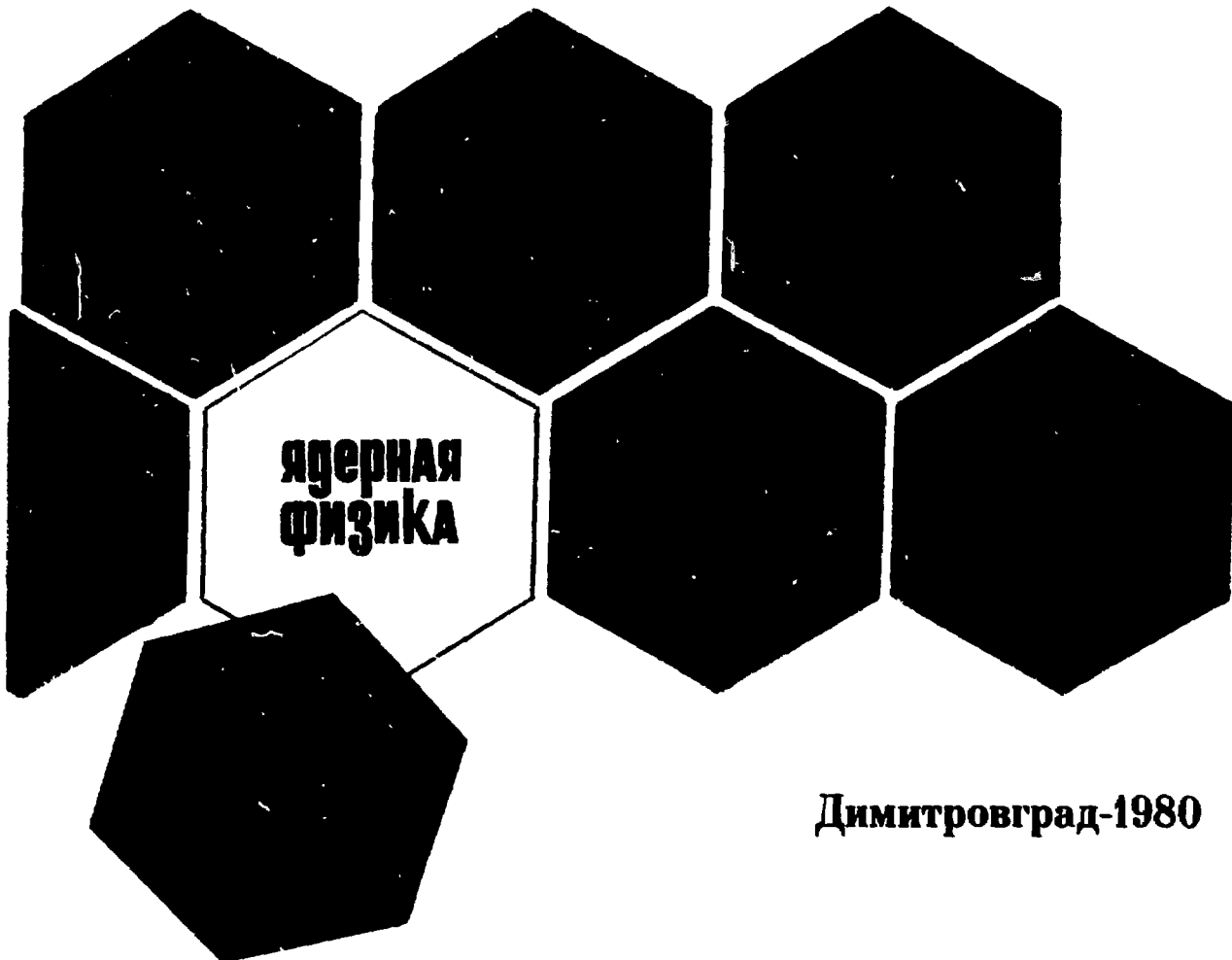
НИИАР-4 (412)

Научно-исследовательский институт  
атомных реакторов им. В.И.Ленина

52.1.00.4619

Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир, В.И.Морозов

**УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ И ОЧЕНЬ  
ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ**



Димитровград-1980

УДК 621.039.556

Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир, В.И.Морозов

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ И ОЧЕНЬ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

Препринт НИИАР-4(412), Димитровград, 1980, 15 с.

### Р е ф е р а т

Описана установка, предназначенная для формирования моноэнергетических нейтронных пучков в диапазоне энергий  $2 \cdot 10^{-8}$  -  $7 \cdot 10^{-7}$  эВ. Установка состоит из транспортного нейтроновода для извлечения ультрахолодных нейтронов (УХН) из реактора СМ-2 и ускорительного гравитационного канала, в котором УХН ускоряются полем тяжести до нужной энергии. Приведены параметры установки: плотность выведенного потока при использовании нейтроновода в накопительном режиме составляет 56 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , интенсивность моноэнергетических пучков - 0,1, 0,5 и 1 нейтр./с при абсолютном размытии пучков по энергии соответственно  $10^{-8}$ ,  $3 \cdot 10^{-8}$  и  $4 \cdot 10^{-8}$  эВ (рис.10, список лит. - 5 назв.).



Ю.Ю.Косвинцев, Ю.А.Кушнир,  
В.И.Морозов

НИИАР-4(412)  
УДК 621.039.556

Установка для получения моноэнергетических пучков  
ультрахолодных и очень холодных нейтронов

Описана установка, предназначенная для формирования моноэнергетических нейтронных пучков. Установка состоит из транспортного нейтронвода для извлечения ультрахолодных нейтронов (УХН) из реактора СМ-2 и вертикального гравитационно-ускорительного канала для получения нейтронных моноэнергетических пучков в диапазоне энергий  $2 \cdot 10^{-8}$  -  $7 \cdot 10^{-7}$  эВ.

Параметры построенного комплекса позволяют проводить измерения по хранению УХН в сосудах и исследованию энергетических зависимостей полных сечений взаимодействия нейтронов сверхмалых энергий с веществом.

Препринт Научно-исследовательского института атомных реакторов  
им. В.И.Ленина, Димитровград, 1980

Yu.Yu.Kosvintsev, Yu.A.Kushnir,  
V.I.Morosov

RIAR-4(412)  
UDC 621.039.556

Facility for production of monoenergetic beams of  
ultracold and very cold neutrons.

A facility for monoenergetic neutron beams formation is described. The facility consists of neutron guide to extract ultracold neutrons (UCN) from SM-2 reactor and a vertical gravitational-accelerating channel for monoenergetic neutron beams production in the energy range from  $2 \cdot 10^{-8}$  to  $7 \cdot 10^{-7}$  eV. Facility parameters allow to measure UCN storage in vessels and to study energy dependences of total neutron cross-sections for interactions between super-low energy neutron and matter.

Preprint. Research Institute of Atomic Reactors named after  
V.I.Lenin, Dimitrovgrad, 1980.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Для исследования процессов взаимодействия нейтронов сверхмалых энергий с веществом необходимы моноэнергетические пучки очень холодных ( $E < 10^{-4}$  эВ) и ультрахолодных ( $E < 10^{-7}$  эВ) нейтронов. Особенно интересным, но и наиболее трудным представляется получение таких пучков в диапазоне энергий  $10^{-8} - 10^{-6}$  эВ. Наличие их открывает возможность детального исследования хода полных сечений и сечений неупругого рассеяния при скорости нейтронов  $U \rightarrow 0$ , определения амплитуд когерентного рассеяния, исследования квантовомеханических эффектов при прохождении нейтронов через тонкие пленки. Большой интерес представляет исследование процесса упругого рассеяния нейтронов на неоднородностях плотности вещества, результаты которого могут оказаться полезными для анализа структурных нарушений в твердых телах, диагностики сплавов и магнитных структур. Изучение индикатрис рассеяния нейтронов, упруго отраженных от поверхности твердых и жидких тел, может дать информацию о микроструктуре поверхности с характерным размером шероховатости  $\sim 10^{-5} - 10^{-4}$  см.

Для проведения подобных исследований в 1978 г. на реакторе СМ-2 была создана комплексная установка, предназначенная для формирования моноэнергетических пучков в диапазоне энергий  $10^{-8} - 10^{-6}$  эВ. Установка состоит из двух основных частей: горизонтального транспортного нейтронпровода, предназначенного для извлечения из замедлителя ультрахолодных нейтронов с энергией  $0,5 - 2 \cdot 10^{-7}$  эВ, и гравита-

ционного ускорительного канала, в котором нейтроны малых энергий (от 0 до  $\sim 10^{-8}$  эВ) ускоряются полем тяжести до нужной скорости.

## 2. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ НЕЙТРОНОВОД ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УХН

Схема транспортного нейтроновода для извлечения УХН приведена на рис.1. Нейтроновод 3 длиной 5,5 м изготовлен из электрополированных в  $H_3PO_4$  нержавеющей труб  $\phi$  90 мм, имеет три резких изгиба в горизонтальной плоскости под углом  $45^\circ$  и проходит через большую 13 и малую 4 пробки шибера. В доньшко нейтроновода, расположенного у активной зоны реактора I, вмонтирован конвертор УХН 2 (дополнительный замедлитель), представляющий собой тонкую ( $\sim 1$  мм) пластину из  $ZrH_2$   $\phi$  86 мм. Охлаждение конвертора, разогревающегося

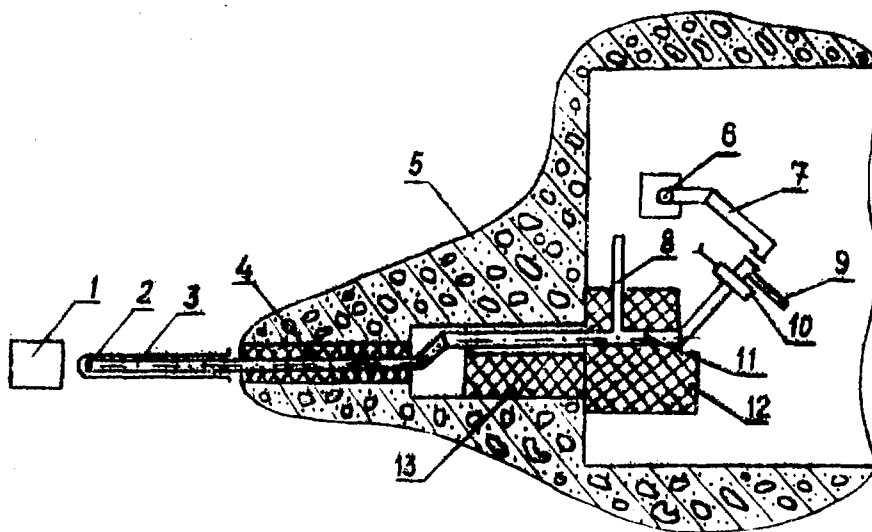


Рис.1. Схема транспортного нейтроновода для извлечения УХН: I - активная зона; 2 - конвертор; 3 - нейтроновод; 4 - малая пробка; 5 - защита реактора; 6 - вертикальный канал; 7 - нейтроновод к вертикальному каналу; 8-9 - откачные патрубки; 10 - вакуумный шибер; 11 - мембрана; 12 - дополнительная защита; 13 - большая пробка.

в  $\gamma$ -поле реактора, производится дистиллированной водой, подающейся под давлением 0,2 - 0,3 МПа в кольцевой зазор между концентрическими трубами 5 и 6 (рис.2), изготовленными из электрополированной нержавеющей стали. Вода омывает доньшко 3 начального участка, к которому припаян конвертор 1, огибая разделительную диафрагму 2, выходит по внутренней трубе 6. Из вакуумной полости нейтроновода трубы охлаждения выводятся в районе первого 45-градусного поворота через сильфон 7, который компенсирует тепловое удлинение нейтроновода при выходе реактора на мощность и предохраняет конвертор от разрушения.

В отличие от предыдущих конструкций [1-3] в построенном нейтроноводе начальный участок не охлаждался. Ликвидация рубашки охлаждения была произведена для повышения потока тепловых нейтронов на конверторе. Для контроля температуры стенок нейтроновода в 30 мм от доньшка его (в точке А) была укреплена хромель-алюмелевая термопара 4.

Весь нейтроновод разделен алюминиевой мембраной II (рис.1) толщиной 100 мкм на высоковакуумную часть, расположенную в биологической защите реактора, и низковакуумную, находящуюся в экспериментальном зале. Высоковакуумная часть непрерывно откачивается до  $\sim 10^{-3}$  Па электроразрядным магнитным насосом НЭМ-300 через патрубок 8 (рис.1). Откачка низковакуумной части производится диффузионным агрегатом ВА-3пр до вакуума  $10^{-1} - 10^{-3}$  Па через патрубок 9. На выходе нейтроновода установлен вакуумный шибер 10, предохраняющий мембрану от перепада давления, возникающего при присоединении к нейтроноводу экспериментальных устройств.

Для выведения конвертора из зоны интенсивного  $\gamma$ -излучения на время, когда эксперименты не проводятся, нейтроновод выполнен подвижным. Возможность выведения конвертора позволяет уменьшить радиационную коррозию стенок начального участка нейтроновода и интенсивность выделения водорода из  $\chi$  и  $H_2$ . Перемещение нейтроновода по направлению к зоне и обратно может производиться на расстояние  $\sim 17$  см при помощи механизма, установленного в экспериментальном зале.

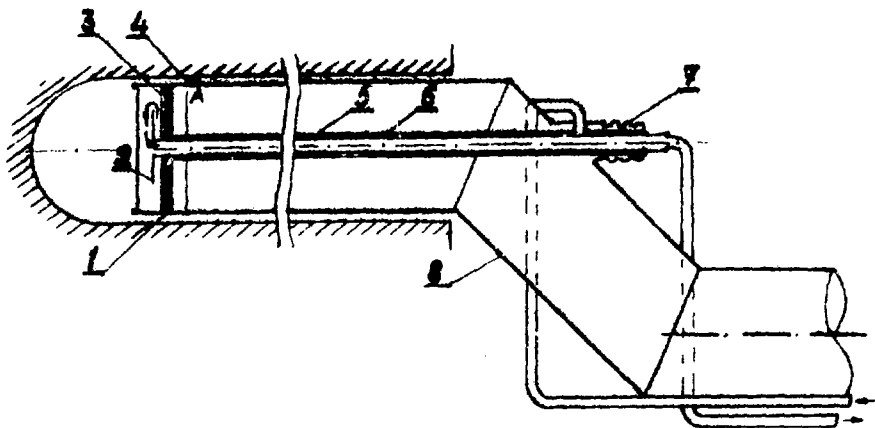


Рис.2. Схема начального участка нейтронновода: 1 - конвертор; 2 - разделительная диафрагма; 3 - доньшко; 4 - термопара; 5 - внешняя труба охлаждения; 6 - внутренняя труба охлаждения; 7 - сифон; 8 - нейтронновод

### 3. ПАРАМЕТРЫ ВЫВЕДЕННОГО ПОТОКА УХН

При облучении конвертора тепловыми нейтронами часть из них в результате неупругого рассеяния теряет свою энергию и попадает в диапазон УХН. Выведение их из конвертора осуществляется за счет способности УХН отражаться от границы вакуум-среда при любых углах падения, если энергия их  $E < E_{гр}$  среды ( $E_{гр} = \frac{h^2}{2\pi m N V m}$ , где  $h$  - постоянная Планка;  $m$  - масса нейтрона;  $N$  - число ядер в единице объема среды;  $V_{ког}$  - длина когерентного рассеяния). Вышедшие из конвертора УХН после ряда отражений от стенок нейтронновода достигают его выходного патрубка. Поток УХН на выходе нейтронновода определяется потоком УХН из конвертора и пропускной способностью нейтронновода. Если нейтронновод имеет большую длину и значительное число резких изгибов, то спектр выведенных УХН будет ограничен сверху при  $E = E_{гр.н}$  ( $E_{гр.н}$  - граничная энергия материала нейтронновода). Нейтронноводы такого типа удобны для экспериментов по хранению

УХН, формированию узких моноэнергетических линий, спектральных измерений. Однако из-за большого числа изгибов коэффициент пропускания такого нейтронотода для УХН с  $E < E_{гр.н}$  тоже невелик, и поток выведенных УХН мал. Получить резко ограниченный сверху спектр и в то же время сохранить высокое пропускание нейтронотода для УХН с  $E < E_{гр.н}$  можно и при небольшом числе поворотов, если они будут расположены на определенном расстоянии друг от друга. В построенном нейтронотоде для этой цели 2 первых 45-градусных поворота расположены сразу друг за другом. Такая конфигурация в сочетании еще с одним поворотом, удаленным от первых двух, позволяет довести поток УХН с  $E > E_{гр.н}$  на выходе нейтронотода до 2 - 3% от полного потока УХН [1-3].

Нижняя граница спектра выводимых УХН определяется граничной энергией материала конвертора  $E_{гр.к}$ . Если в нейтронотоде нет поперечной мембраны, то спектр УХН будет ограничен снизу при  $E = E_{гр.к}$ , поскольку нейтроны при переходе в вакуум приобретают дополнительную энергию  $E_{гр.к}$ .

Граничная энергия  $^{238}\text{Pu}$ , примененного в качестве конвертора на СМ-2, составляет  $\sim 10^{-8}$  эВ, а нержавеющей стали, из которой изготовлены стенки нейтронотода (ИХИ8НЭТ), -  $\sim 19 \cdot 10^{-8}$  эВ. Таким образом, если бы в нейтронотоде не было разделительной мембраны, спектр потока выведенных УХН был бы заключен в интервале  $1 \cdot 10^{-8}$  -  $19 \cdot 10^{-8}$  эВ. Однако, поскольку граничная энергия алюминия составляет  $5 \cdot 10^{-8}$  эВ, спектр выведенного потока должен находиться в пределах от  $5 \cdot 10^{-8}$  до  $19 \cdot 10^{-8}$  эВ.

Исследование параметров выведенного потока УХН производилось газовым пропорциональным детектором на основе  $\text{He}^3$  с алюминиевым входным окном площадью  $60 \text{ см}^2$  и толщиной  $60 \text{ мкм}$ . Наполнение детектора:  $\text{Ar} - 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ,  $\text{CO}_2 - 2,6 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ,  $\text{He}^3 - 3,1 \cdot 10^2 \text{ Па}$ . Детектор подключался к выходному патрубку нейтронотода. Перед входным окном детектора устанавливалась заслонка из медной фольги толщиной  $5 \text{ мкм}$ , которой без нарушения вакуума либо перекрывалось входное окно детектора, либо открывалось. Дополнительной защитой тепловой фон детектора был понижен до  $0,1 \text{ нейтр./с}$ .



На рис.3 приведена зависимость счета выводимых нейтронов-  
 дом УХН при открытой заслонке от расстояния между конвер-  
 тором и дном горизонтального циркониевого канала реакто-  
 ра. При перемещении нейтроновода по направлению к зоне на  
 17 см (максимальная амплитуда перемещения) поток выведен-  
 ных УХН возрастет практически в 3 раза (рис.3). Температу-  
 ра стенок начального участка меняется при этом не столь  
 значительно ( $\sim 1,8$  раз).

На рис.4 приведены зависимости температуры началь-  
 ного участка нейтроновода от мощности реактора. При полной  
 мощности реактора ( $W = 100$  МВт) и минимальном расстоянии  
 между дном канала и конвертором ( $l = 0$ ) температура стенок  
 начального участка составила  $\sim 310^{\circ}\text{C}$ . При таком температур-  
 ном режиме стенка длительная эксплуатация нейтроновода впло-  
 не возможна. Таким образом, удаление водяной рубашки охлаж-  
 дения начального участка нейтроновода оказалось оправданным.

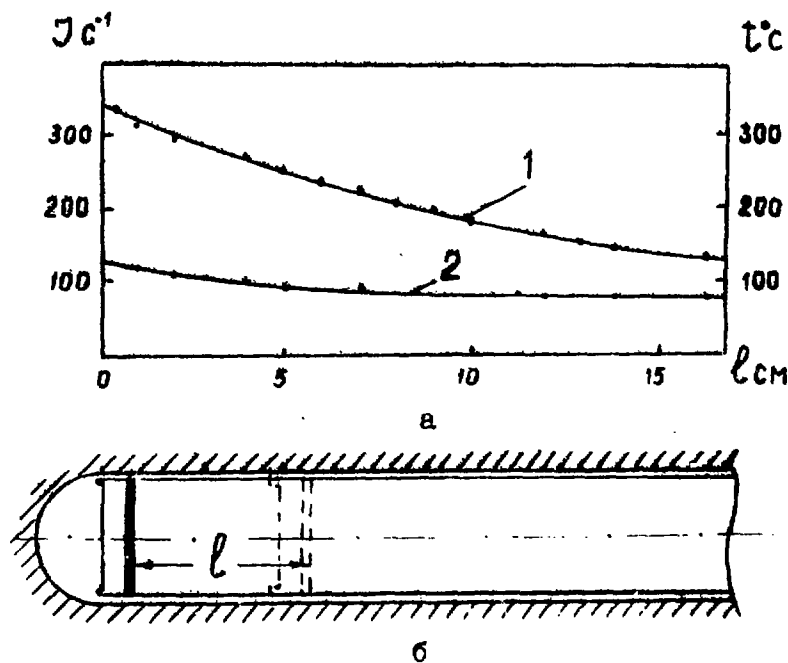


Рис.3. Зависимость температуры начального участка нейтро-  
 новода (2) и счета детектора (1) (а) от положения конвертора  
 относительно дна циркониевого канала ( $W = 28$  МВт) (б)

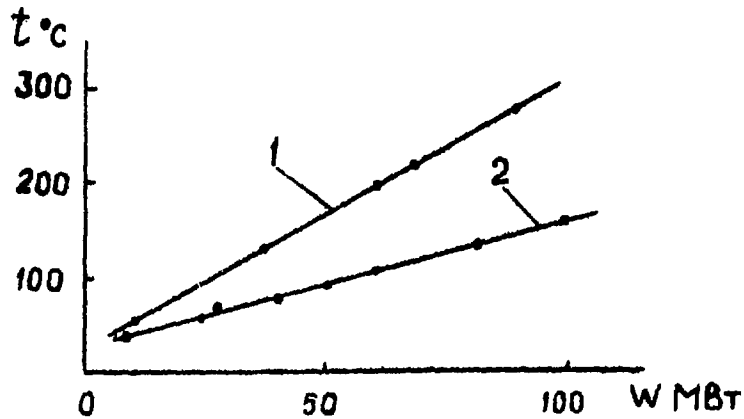


Рис.4. Зависимость температуры начального участка нейтроновода от мощности реактора: 1 -  $l = 7$  см; 2 -  $l = 17$  см

При перекрывании медной заслонкой входного окна детектора счет УХН уменьшался до  $\sim 2\%$  от величины счета детектора с открытым входным окном. Это указывает на то, что в спектре выведенного потока доля нейтронов с энергией  $E > 1,7 \cdot 10^{-7}$  эВ ( $E_{гр}$  для меди) не превышает  $2\%$ . Полученный результат подтверждается также измерением спектра выведенного потока, проведенным при помощи П-образного гравитационного колена [4] (рис.5).

На рис.6 приведена зависимость счета детектора от площади отверстия в медной заслонке, через которое УХН могут проходить в детектор (нагрузочная кривая). Из рис.6 видно, что пока площадь открытого отверстия значительно меньше площади поперечного сечения нейтроновода ( $60 \text{ см}^2$ ) плотность потока УХН, падающего на заслонку, в 2,75 раза больше, чем плотность потока без заслонки. Полученный результат свидетельствует о резком увеличении плотности выводимого потока УХН при переводе нейтроновода из проточного режима в накопительный.

При полной мощности реактора, которая соответствует потоку тепловых нейтронов на конверторе  $(2 - 4) \cdot 10^{14}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  ( $l = 0$ ), плотность потока УХН,

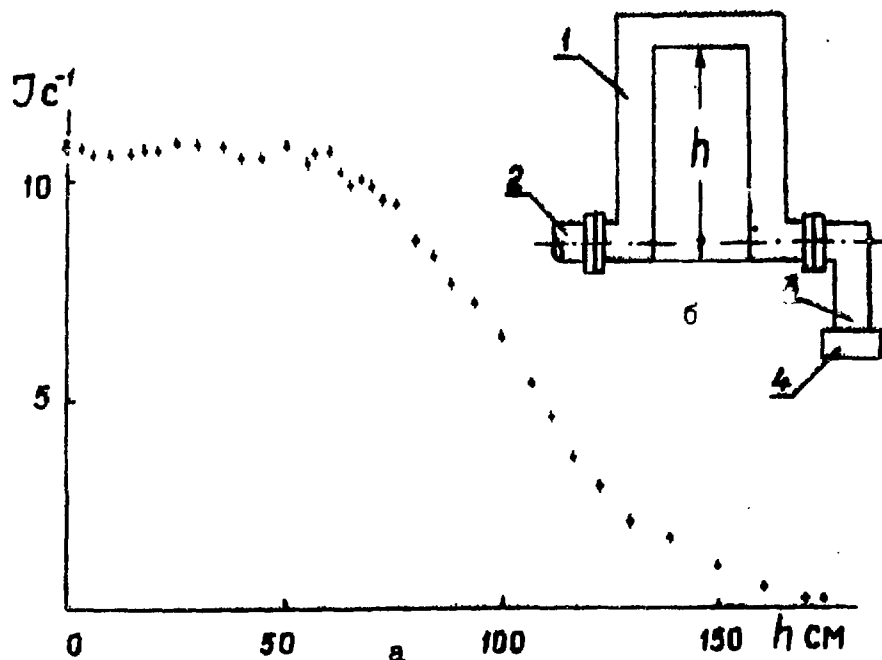


Рис.5. Интегральный спектр потока УХН: а - на выходном патрубке установки; б - П-образное колено для измерения интегрального спектра: 1 - колено; 2 - выходной патрубок установки; 3 - ускорительное колено; 4 - детектор УХН

выводимых в накопительном режиме, составила 56 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  в центре выходного патрубка ( $\phi$  30 мм) и соответственно 57, 55 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  в верхней и нижней точках. В проточном режиме выведения (истечение УХН в вакуум) при этих же условиях плотность выводимого потока уменьшалась до 20 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Для измерения плотности выводимых потоков в обоих случаях использовался детектор, опущенный на 50 см ниже уровня нейтронотода. Имитация проточного и накопительного режимов производилась медной заслонкой с небольшим отверстием, перекрывающей сечение выходного патрубка. Для создания проточного режима поверхность заслонки, обращенная внутрь транспортного нейтроното-

вода, покрывалась полиэтиленом. УХН, прошедшие через отверстие заслонки, практически с вероятностью  $\sim 100\%$  регистрировались детектором после ускорения в вертикальном нейтроноводе.

На рис.7 приведено угловое распределение потока УХН, выходящих в проточном режиме из выходного патрубка. Угловое распределение измерялось при помощи детектора с коллиматором, ось которого ориентировалась под произвольным углом  $\theta$  относительно оси выходного патрубка (разрешение составляло  $\sim 20^\circ$  [5]). Распределения приведены для УХН с  $E < E_{гр.меди}$  и  $E > E_{гр.меди}$

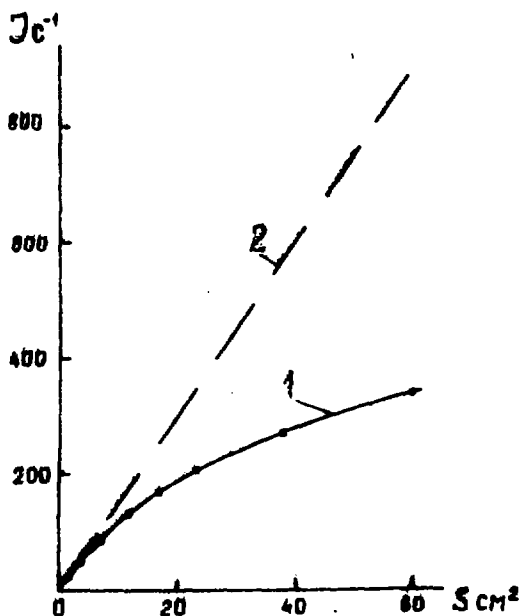


Рис.6. Зависимость счета УХН от площади отверстия, открытого на детектор: 1 - экспериментальная зависимость; 2 - экстраполяция начального участка экспериментальной зависимости

#### 4 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЬНОГО СТАЦИОНАРНОГО КАНАЛА

Вторая основная часть установки - вертикальный гравитационный канал для ускорения УХН и формирования моноэнергетических пучков (рис.8). УХН ускоряются в вертикальном нейтроноводе 4 длиной 7 м и  $\phi$  90 мм, изготовленном из электрополированной нержавеющей стали. Для достижения высокой степени зеркальности внутренней поверхности нейтроновода процесс электрополирования производился 4-5 раз

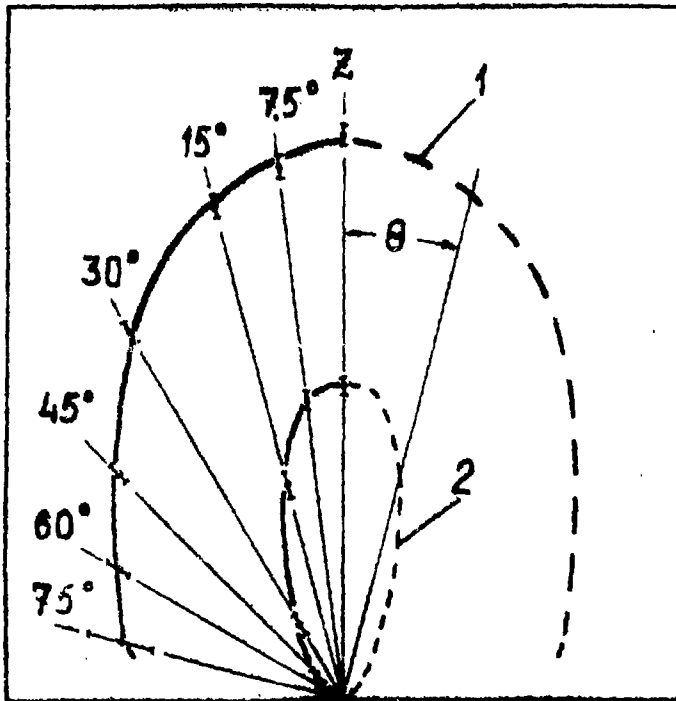


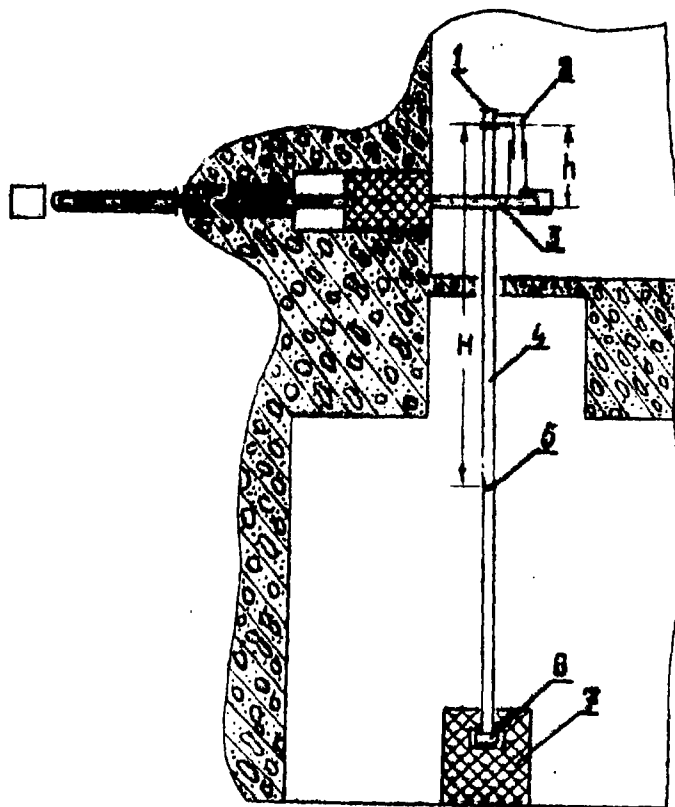
Рис.7. Угловое распределение потока УХН на выходе нейтронновода: 1 -  $E < E_{гр. \text{ меди}}$ ; 2 -  $E > E_{гр. \text{ меди}}$ . Точки кри- вой 2 увеличе- ны в 2,5 раза

в  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при температуре  $90^\circ\text{C}$  и плотности тока  $5-10 \text{ A/дм}^2$ . Исследование пропускания УХН отдельными секциями нейтронновода показало, что вероятность зеркального отражения УХН от стенок при одном ударе не ниже 0,95 [5].

На верхнем торце нейтронновода установлена приемная камера 1, в которую по нейтронноводу 2 из выходного патрубка транспортного нейтронновода 3 поступают выведенные УХН. Нейтронновод 2 выполнен телескопическим, что позволяет без нарушения вакуума изменять высоту  $h$  подъема входного отверстия приемной камеры относительно уровня транспортного нейтронновода. На нижнем торце нейтронновода установлен газовый пропорциональный детектор 6 на основе  ${}^3\text{He}$  с алюминиевым входным окном  $d$  90 мм и толщиной 60 мкм. Детектор заполнен  ${}^3\text{He}$  до  $\sim 4 \cdot 10^3 \text{ Па}$ , что в 3 раза выше по сравнению с заполнением обычных детекторов УХН.

Формирование моноэнергетических нейтронных пучков осу-

Рис.8. Схема вертикального ускорительного канала УХН: 1 - приемная камера; 2 - нейтроновод к приемной камере; 3 - транспортный нейтроновод; 4 - вертикальный нейтроновод; 5 - мишень; 6 - детектор; 7 - защита детектора



ществляется методом последовательного торможения и ускорения в поле тяжести УХН малых энергий. УХН, поступившие из выходного патрубка транспортного нейтроновода, направляются в приемную камеру. Поднимаясь по нейтроноводу 2, УХН теряют кинетическую энергию и попадают в приемную камеру лишь в том случае, если их начальная энергия была больше  $m\gamma h$ , где  $h$  - высота подъема входного отверстия камеры относительно выходного патрубка. Попавшие в камеру нейтроны имеют относительно её стенок энергию от 0 до  $m\gamma(H_{\text{макс}} - h)$ , где  $H_{\text{макс}}$  - максимальная высота подъема в поле тяжести УХН, извлекаемых из конвертора.

Поскольку стенки канала обладают высокой зеркальностью, при дальнейшем падении вниз по вертикальному нейтроноводу нейтроны не могут выйти за его пределы (при зеркальном от-

ражении горизонтальная компонента скорости нейтрона не меняется). Ускоряясь в поле тяжести, нейтроны на глубине  $H$  будут иметь энергию  $E = mgH$  и энергетическое размытие  $\Delta E = mg(H_{\text{макс}} - h)$ . При падении с высоты 1 см нейтрон приобретает  $\sim 1 \cdot 10^{-9}$  эВ кинетической энергии. Поэтому, например, на глубине 10 м энергия падающих нейтронов будет составлять  $10^{-6}$  эВ, а размытие пучка по энергии  $\Delta E$  будет  $\sim 10^{-8}$  эВ, если  $h$  выбрана так, что  $h_{\text{макс}} - h = 10$  см. При этом относительная ширина пучка составит  $\sim 1\%$ .

Для точного определения  $H_{\text{макс}}$  была исследована зависимость числа  $N$  накапливаемых в сосуде УХН от высоты  $l$  подъема помещенного в него полиэтиленового диска (рис. 9, а, б). Алюминиевый сосуд  $4 \phi 56$  см и высотой 32 см (рис. 9, б) был

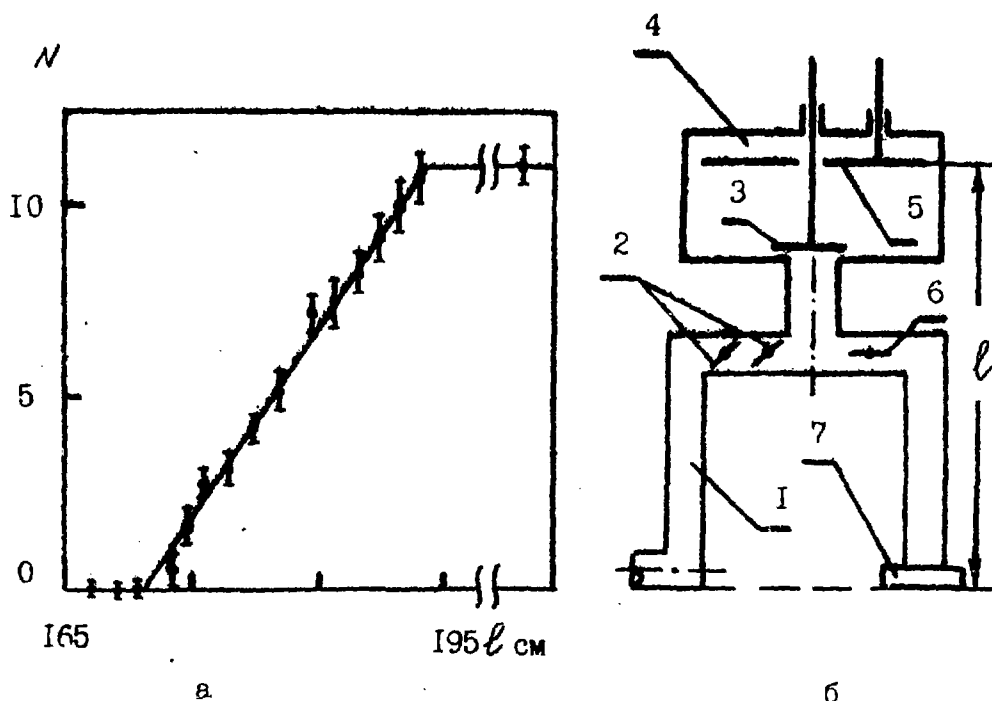


Рис. 9. Схема (б) и результаты эксперимента по определению  $H_{\text{макс}}$  (а): 1 - нейтронотвод; 2, 3, 6 - заслонки; 4 - сосуд; 5 - диск; 7 - детектор

поднят на высоту 165 см относительно выходного патрубка транспортного нейтроновода. Наполнение УХН сосуда производилось по нейтроноводу I через заслонки 2 и 3. Регистрация сохранившихся в сосуде УХН осуществлялась детектором 7 через заслонку 6. По зависимости  $N(h)$  рис.9,а видно, что число накапливаемых в сосуд УХН перестает меняться, когда высота подъема полиэтиленового диска 5 достигает 193 см. Отсюда следует, что  $H_{\text{макс}} = 193$  см.

На рис.10 приведена зависимость счета детектора вертикального канала от высоты подъема  $h$  приемной камеры канала относительно транспортного нейтроновода. Из рис.10 видно, что поток нейтронов, падающих на входное окно детекто-

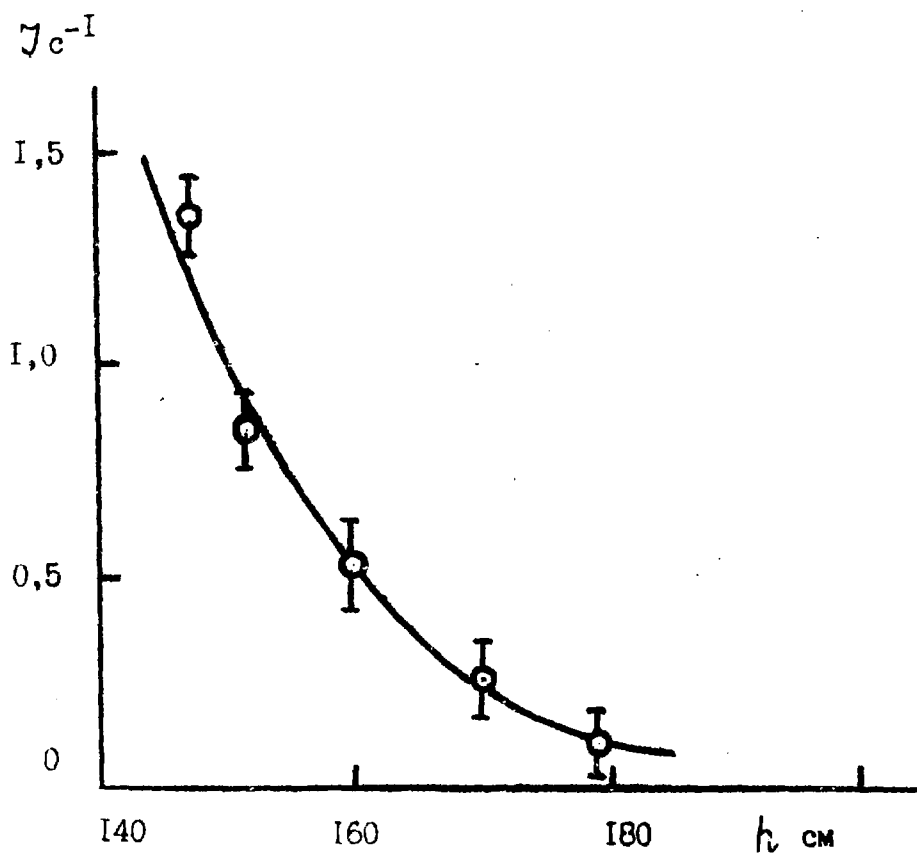


Рис.10. Зависимость счета детектора вертикального канала от высоты подъема  $h$  приемной камеры



ра, определяется степенью "размытости" пучка по энергии. При полной мощности реактора и  $\epsilon = 0$  счет детектора составляет  $0,1 \text{ с}^{-1}$  при  $\Delta E = 10^{-8}$  эВ;  $0,5 \text{ с}^{-1}$  при  $\Delta E = 3 \cdot 10^{-8}$  эВ и  $1 \text{ с}^{-1}$  при  $\Delta E = 4 \cdot 10^{-8}$  эВ. Полученной интенсивности уже вполне достаточно для широкого круга экспериментов с нейтронами в диапазоне энергий  $2 \cdot 10^{-8} - 7 \cdot 10^{-7}$  эВ, возможном при длине канала 7 м. Изменение энергии нейтронов, падающих на мишень, может производиться изменением глубины погружения Н мишени в вертикальный нейтронпровод.

## 5. ВЫВОДЫ

1. На реакторе СМ-2 построен транспортный нейтронпровод для выведения УХН в диапазоне энергий  $(0,5 - 1,9) \cdot 10^{-7}$  эВ. Плотность выведенного потока при использовании нейтронпровода в накопительном режиме составляет  $56 \text{ нейтр./}(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , что позволяет эффективно использовать нейтронпровод для наполнения нейтронным газом сосудов с плотностью  $400 \text{ нейтр./л}$ .

2. В комплексе с транспортным нейтронпроводом построен вертикальный гравитационно-ускорительный канал для формирования нейтронных моноэнергетических пучков в диапазоне энергий  $2 \cdot 10^{-8} - 7 \cdot 10^{-7}$  эВ. Интенсивность получаемых пучков определяется степенью их моноэнергетичности и составляет  $0,1$ ;  $0,5$  и  $1 \text{ нейтр./с}$  при абсолютном "размытии" пучка по энергии соответственно  $10^{-8}$ ,  $3 \cdot 10^{-8}$  и  $4 \cdot 10^{-8}$  эВ.

3. Параметры построенного комплекса позволяют проводить измерения по хранению УХН в сосудах и исследованию энергетических зависимостей полных сечений в диапазоне энергии  $2 \cdot 10^{-8} - 7 \cdot 10^{-7}$  эВ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Замятнин Ю.С., Колесов А.Г., Кулагин Е.И. и др. Высокопоточный реактор СМ-2 как эффективный источник ультрахолодных нейтронов. Сообщение СМЛН, РЗ-7946, Дубна, 1974.

2. Kosvintsev Ju. Ju., Kulagin E.N., Kushnir Ju. A. et al. Extraction of ultracold neutrons from high flux reactor SM-2. Nuclear Instrument and Methods 143, 1977, p.133.
3. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И. Установка для получения моноэнергетических пучков очень холодных и ультрахолодных нейтронов. - В сб.: Нейтронная физика, М., ЦНИИАтоминформ, 1977, ч.1, с.152.
4. Шапиро Ф.Л. Ультрахолодные нейтроны. Сообщение ОИИИ, РЗ-7135, Дубна, 1973.
5. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И., Платонов А.П. Распространение УХН по цилиндрическим нейтроноводам. Препринт НИИАР, П-263, Димитровград, 1976.

Рукопись поступила в ОПИНТИ  
27.12.78, обработана 31.05.79.  
Окончательно подготовлена  
авторами 27.09.79.



Юрий Юрьевич Косвинцев  
Юрий Алексеевич Кушнир  
Василий Иванович Морозов

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ И ОЧЕНЬ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

Редактор М.К.Карацуба

Корректор С.И.Бдачева

---

Подписано к печати 31.01.80. Т-03734. Формат 60x90 1/16  
Офсетная печать. Печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 150 экз.  
Заказ 434. Индекс 3624. Цена 9 коп.

---

Отпечатано на роталпринте НИИАРа, март 1980 г.  
433510, Димитровград-10, НИИАР

## Н А С Т О Я Щ Е Е    И З Д А Н И Е    Н И И А Р а

ЯВЛЯЕТСЯ самостоятельной, не всегда дублирующей в последствии в других изданиях ПУБЛИКАЦИЕЙ отдельных оригинальных научных трудов НИИАРа, на которую можно ссылаться в других публикациях, указывая при этом авторов, наименование, порядковый номер (НИИАР-...), год и место издания (Димитровград).

ИЗДАЕТСЯ с целью более быстрой или более полной информации по сериям:

1. Ядерные реакторы
2. Методика и техника облучения
3. Радиационное материаловедение
4. Радиохимия
5. Ядерная физика
6. Вычислительная техника и электроника
7. Вычислительная математика и программирование
8. Информатика и управление

ПЕЧАТАЕТСЯ на ротапринтере НИИАРа тиражом 150 экз.

РАССЫЛАЕТСЯ в научные организации, научно-технические библиотеки и отдельным лицам в соответствии с установленным порядком.

9 коп.

Индекс 3624

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
ПУЧКОВ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ И ОЧЕНЬ ХОЛОДНЫХ  
НЕЙТРОНОВ

Препринт НИИАР-4(412), 1980, 1-15