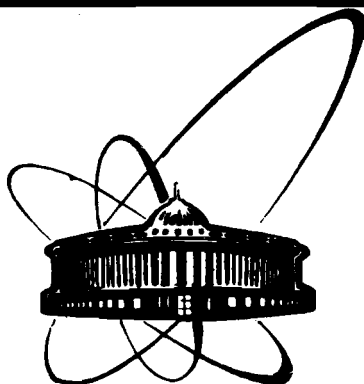


89-479



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

E 721

3-89-479

В. А. Ермаков, Ж. А. Козлов, М. Л. Челноков

КАНАЛ ОЧЕНЬ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ НА ИБР-2

1989

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Данная работа содержит предложение создания установки "канал ОХН" на пучке № 3 ИБР-2.

Очень холодные нейтроны (ОХН) с длиной волны  $\lambda \geq 10 \text{ \AA}$  могут быть использованы для исследования упругого, квазиупругого и неупругого рассеяния нейтронов с малыми передачами энергии и импульса, когерентной и некогерентной составляющих сечения взаимодействия нейтрона с веществом, захвата и др.

Относительно нечастое использование ОХН связано, главным образом, с трудностью получения пучков нейтронов достаточно высокой интенсивности. Сейчас на ИБР-2 изучается возможность создания холодного источника нейтронов (ХИН), который увеличит поток ОХН в  $10 \div 30$  раз и позволит вести эксперименты с ОХН. Кроме того, импульсный характер реактора ИБР-2 с применением метода времени пролета (МВП) является благоприятным условием для использования ОХН одновременно в широком диапазоне длин волн.

Предварительно, до создания на ИБР-2 канала ОХН, имеющего оптимальные параметры, начаты работы по поиску направлений, которые будут наиболее адекватны возможностям ИБР-2. Сейчас они ведутся на пучке № 3 ИБР-2, построенного для исследований с ультрахолодными нейтронами (УХН) и нейтронами с  $\lambda \geq 75 \text{ \AA}$  без использования МВП.

Данное предложение предусматривает возможность проведения экспериментов на пучке № 3 одновременно и автономно на обеих установках — "канал УХН" и "канал ОХН". Реконструкция пучка № 3 предполагает использование большинства деталей и узлов ныне действующего "канала УХН". В новом проекте должны быть закреплены и методические находки, которые оправдали себя при эксплуатации пучка № 3, такие, как возможности надвигания нейтронотода до активной зоны реактора и выкатывания ее в экспериментальный зал и др.

Создание "канала ОХН" на пучке № 3 оправдано и тем, что для развития "канала УХН" и увеличения потока УХН также необходим ХИН. При этом заметим, что увеличение потоков УХН и ОХН при использовании ХИН не приводит к заметному повышению фона.

Отметим несколько важных особенностей использования ХИН на пучке № 3 ИБР-2. С точки зрения уменьшения потерь УХН и ОХН в конструкционных материалах, которые обычно стоят на пучке, лучше всего

ХИН разместить внутри вакуумного нейтроновода. Монтаж ХИН на дне нейтроновода, который может придвигаться к активной зоне ИБР-2 и отодвигаться в экспериментальный зал, создает целый ряд практических преимуществ. Во-первых, это позволит смонтировать и испытать ХИН вдали от реактора, а при отказах во время эксплуатации проводить ремонт после откатывания ХИН в экспериментальный зал. И, во-вторых, большой объем вакуумного нейтроновода (больше 1 м<sup>3</sup>) является прекрасным буфером, а сами стенки нейтроновода — защитой в случае разгерметизации ХИН, что повысит безопасность его работы вблизи реактора.

В данной работе приведены результаты расчетов и экспериментов с ОХН на пучке № 3 ИБР-2, а также расчеты прямых и изогнутых нейтроноводов из естественного никеля и меди. Рассмотрены различные возможности и предложения по созданию установки "канал ОХН".

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА "КАНАЛЕ ОХН"

2.1. Схематично оборудование на ныне действующем пучке № 3 ИБР-2 показано на рис.1<sup>1/</sup>. В качестве источника нейтронов, в основном предназначенного для получения УХН, используется сложный замедлитель, состоящий из штатного водяного замедлителя толщиной  $d = 40$  мм, плюс внутри вакуумного нейтроновода пластина из гидрида циркония ( $d \sim 5$  мм) в комбинации с дырочным водяным замедлителем ( $d \sim 100$  мм). Нейтроновод из нержавеющей стали, покрытый медной фольгой, имеет внутренний диаметр  $a = 187$  мм и изогнут в средней части, с радиусом кривизны  $R = 30$  м. Медная фольга (3) толщиной 0,1 мм поставлена для отражения УХН. В качестве детектора ОХН ис-

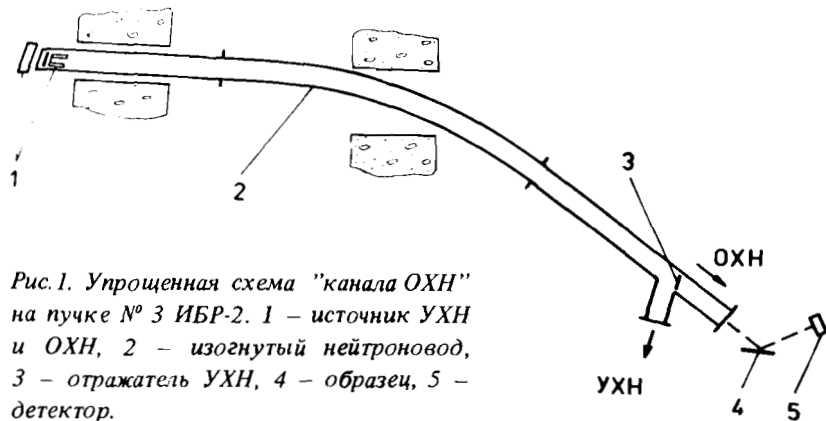


Рис.1. Упрощенная схема "канала ОХН" на пучке № 3 ИБР-2. 1 — источник УХН и ОХН, 2 — изогнутый нейтроновод, 3 — отражатель УХН, 4 — образец, 5 — детектор.

пользуется He-3-счетчик толщиной 60 мм и парциальным давлением He-3 около 30 торр.

2.2. Измерительный модуль создан на базе крейта КАМАК и ЭВМ Правец-16, используемой для управления ходом эксперимента, накопления и обработки информации. Блок-схема измерительно-накопительного модуля представлена на рис.2.

Управление экспериментом проводится через задание экспозиции в счетчике КС-013 из ЭВМ и последующим счетом стартовых импульсов от ИБР-2. При равенстве счета с заданной экспозицией появляется сигнал "L", который говорит об окончании экспозиции.

Автономный накопитель состоит из временного кодировщика ВКП-4<sup>2/</sup> и запоминающего устройства<sup>3/</sup>. Взаимодействие этих блоков обеспечивается их непосредственными связями. Это позволило освободить ЭВМ от функции оперативного накопления спектрометрической информации и тем самым обеспечить более эффективное использование ЭВМ для управления экспериментом и обработки информации без прерывания процесса накопления.

В ходе эксперимента накопителем обеспечивается регистрация временных спектров в интервале 200 мс между стартовыми импульсами реактора.

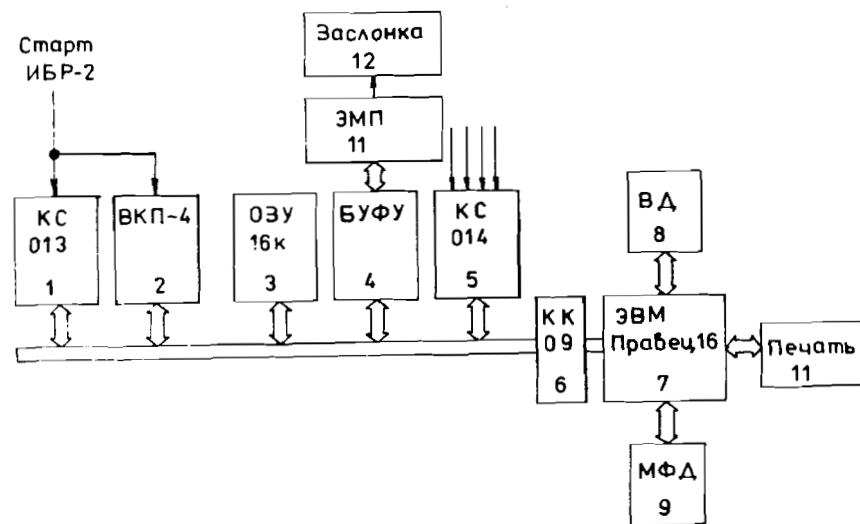


Рис.2. Блок-схема измерительного модуля. 1 — счетчик с предустановкой, 2 — временной кодировщик, 3 — запоминающее устройство, 4 — блок управления физической установкой, 5 — блок счетчиков, 6 — крейт-контроллер, 7 — ЭВМ, 8 — винчестерский диск, 9 — мини-флопидиск, 10 — печать, 11 — электромеханический привод, 12 — заслонка.

2.3. Для измерения фона быстрых нейтронов нейтронвод перекрывается заслонкой из Cd или других материалов. Перемещение заслонки в состояния "открыто" и "закрыто" производится путем выработки команд, адресуемых блоку управления физической установкой <sup>4/</sup>. Управляющие сигналы из этого блока передаются по линии связи в электромеханический привод для включения электродвигателя. Перемещение заслонки из одного состояния в другое отражается посредством ответных сигналов, которые можно сосчитать из входного регистра блока управления физической установки.

Блок счетчиков КС-014 служит для подсчета мониторинговых и других сигналов.

2.4. Программное обеспечение (ПО) позволяет решать следующие основные задачи:

- накопление данных,
- управление экспериментальной аппаратурой,
- хранение накопленных данных,
- визуализацию и распечатку результатов.

В его состав входят четыре программы:

- SS.COM описывает состав и расположение блоков КАМАК,
- OHNEDI.COM задает режимы работы ПО,
- OHNPSJ.COM разрабатывает задание на эксперимент,
- OHN.COM выполняет задание на эксперимент.

Работа начинается с подготовки экспериментатором в интерактивном режиме задания на эксперимент. Готовое задание сохраняется в виде файла на диске, что позволяет подготавливать заранее неограниченное число экспериментов.

Данные, необходимые для формирования задания на эксперимент, скомпонованы в 4 таблицы, которые условно называются "Эксперимент", "Пакет", "Окна", "Временная диаграмма" и содержат имена файлов данных, количество проходов по всем измерениям, число стартов реактора, в течение которого будет проводиться измерение, условный код, задающий положение экспериментальной установки, таблицу окон, в которых необходимо вести поканальное суммирование, временную диаграмму окон, в которых ведутся измерения по МВП.

Программа позволяет редактировать данные любой таблицы любое число раз, распечатать их на экране или на бумаге. Результатом работы программы подготовки задания является файл, содержащий все введенные данные. Далее работает программа, выполняющая одно из подготовленных заданий. В ходе исполнения эксперимента, по окончании каждого измерения производится суммирование данных и запись их в файл, так что при случайной аварии будут сохранены все данные вплоть до последнего измерения.

Измерения выполняются автоматически полностью в соответствии с заданием. В ходе работы экспериментатор имеет возможность дать следующие команды:

- печать спектров,
- визуализация спектров,
- управление экраном,
- управление ходом эксперимента.

В версии "ОХН" используется модульная организация программного обеспечения КАМАК на языке Паскаль <sup>5,6/</sup>, позволяющая полностью устранить этап настройки программ на конкретную конфигурацию.

Описанная версия ПО удовлетворительно выдержала этап опытной эксплуатации и в настоящее время используется для физических исследований.

### 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРОНОВОДА

3.1. Критический угол отражения нейтронов ныне действующего нейтронвода на "канале УХН" равен

$$\gamma^* = \sqrt{\frac{2a}{R}} = 0,0112.$$

В то же время критический угол полного внешнего отражения для медной поверхности равен

$$\gamma_{Cu}^* = \lambda \cdot \sqrt{N \cdot b / \pi} = 1,46 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \text{ (Å)},$$

где  $b_{Cu} = 0,79 \cdot 10^{-12}$  см,  $\rho_{Cu} = 8,92$  г/см<sup>3</sup>,  $N_{Cu} = 0,85 \cdot 10^{23}$  см<sup>-3</sup>. Для нейтронвода из никеля (ест.)

$$\gamma_{Ni}^* = 1,73 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \text{ (Å)}.$$

Тогда критическая длина волны нейтрона для медного нейтронвода

$$\lambda_{Cu}^* \approx 76 \text{ Å}.$$

Максимальное  $\lambda$ , которое можно измерять по МВП, исходя из пролетной базы 10 м на ИБР-2 равно  $\lambda_{max} \approx 79 \text{ Å}$ , что приблизительно совпадает с  $\lambda_{Cu}^*$ .

Отсюда следует: ОХН по действующему нейтронводу на пучке № 3 распространяются с отражением типа "гирлянда", т.е. движутся в основном вдоль вогнутой поверхности.

3.2. Пропускание нейтронвода прямоугольного сечения  $e(\lambda)$  рассмотрено в работе /7/. Предположим, что наш нейтронвод имеет квадратное сечение со стороной  $a$ , тогда для прямого зеркального нейтронвода

$$e(\lambda)_s = \frac{4\gamma^*(\lambda)^2}{2\pi} \left(1 - \frac{a \cdot a}{2 \cdot \Delta K^2}\right),$$

где  $a = 2,4 \cdot 10^{-7} (\text{Å}^{-2} \text{ см}^{-1})$ ,

$$\Delta K = \frac{2\pi}{\lambda} \gamma^* \quad \begin{aligned} (\Delta K_{\text{Cu}} &= 0,92 \cdot 10^{-2} \text{ Å}^{-1}, \\ \Delta K_{\text{Ni}} &= 1,086 \cdot 10^{-2} \text{ Å}^{-1}). \end{aligned}$$

Для изогнутого зеркального нейтронвода

$$e(\lambda) = \frac{2R}{3\pi a} \cdot \gamma^*(\lambda)^4 \cdot f\left(\lambda, \frac{a}{R}\right) \cdot \left(1 - \frac{a a}{2\Delta K^2}\right),$$

$$f\left(\lambda, \frac{a}{R}\right) = \begin{cases} 1 & \lambda \leq \lambda^*, \\ 1 - \left(1 - \frac{2a}{R \cdot \gamma^*(\lambda)^2}\right)^{3/2} & \lambda > \lambda^*. \end{cases}$$

На рис.3 приведены результаты расчетов пропускания ОХН для прямого (Ni, Cu) и изогнутого (Cu,  $R = 30$  м) нейтронводов. Для сравнения приведена величина телесного угла  $\Omega$  для пучка диаметром  $a$ . Видно, что для ОХН с  $\lambda \gtrsim 22 \text{ Å}$  на действующем нейтронводе имеется заметный выигрыш в интенсивности пучка ОХН.

3.3. Средний угловой разброс нейтронов в пучке на выходе прямоугольного нейтронвода с учетом гравитации и геометрии канала согласно /7/ равен: в горизонтальной плоскости

$$\langle \gamma_h(\lambda) \rangle = \frac{R}{12a} \left(\frac{\Delta K}{\pi}\right)^3 \cdot \lambda^3 \cdot f\left(\lambda, \frac{a}{R}\right)$$

и в вертикальной плоскости

$$\langle \gamma_v(\lambda) \rangle = \frac{\Delta K}{\pi} \cdot \lambda \cdot \left(1 - \frac{a a}{2\Delta K^2}\right) \approx 2\gamma^*(\lambda).$$

На рис.4 приведены расчеты среднего значения углового расхождения пучка нейтронов на выходе действующего "канала УХН" на ИБР-2. Для сравнения показаны кривые  $2\gamma^*(\lambda)$  для нейтронводов из меди и никеля (ест.). Видно, что в горизонтальной плоскости на выходе нейтронвода  $\langle \gamma_h(\lambda) \rangle \ll 2\gamma_{\text{Cu}}^*$ , что связано с относительно малой

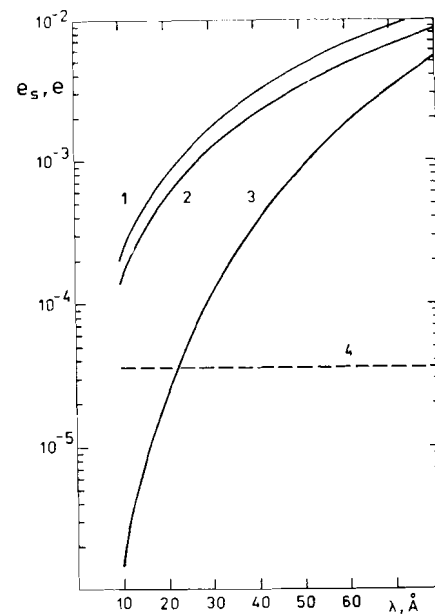
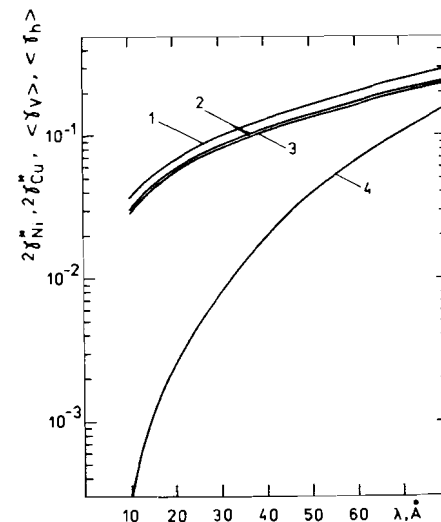


Рис.3. Зависимость пропускания нейтронвода от длины волны. 1 – прямой нейтронвод из никеля, 2 – прямой нейтронвод из меди, 3 – изогнутый медный нейтронвод с  $R=30$  м, 4 – величина телесного угла для прямого пучка ( $a = 187$  мм).

Рис.4. Зависимость средней угловой расходимости пучка нейтронов от длины волны. 1 –  $2\gamma_{\text{Ni}}^*$ , 2 –  $2\gamma_{\text{Cu}}^*$ , 3 –  $\langle \gamma_v \rangle$ , 4 –  $\langle \gamma_h \rangle$ . 3, 4 – нейтронводы с  $a=187$  мм и  $R=30$  м.



величиной  $R/a$ , и, как следствие, с отражением ОХН типа "гирлянда". В вертикальной плоскости, как и ожидалось, угловая расходимость пучка нейтронов на выходе нейтронвода примерно равна значению на входе.

3.4. Поток ОХН на поверхности замедлителя равен

$$N(\lambda) d\lambda = W \cdot \Phi_T \cdot \frac{\lambda_T^5 \cdot d\lambda}{\lambda^5 \cdot 2},$$

где  $W$  – мощность реактора в МВт ( $W_{\text{ИБР-2}} = 2$  МВт);  $\Phi_T$  – интегральный поток тепловых нейтронов, вылетающих с замедлителя (на пучке № 3 ИБР-2  $\Phi_T = 10^{12}$  н/см<sup>2</sup>·МВт);  $\lambda_T$  – длина волны тепловых нейтронов ( $\lambda_T = 1,8 \text{ Å}$ ).

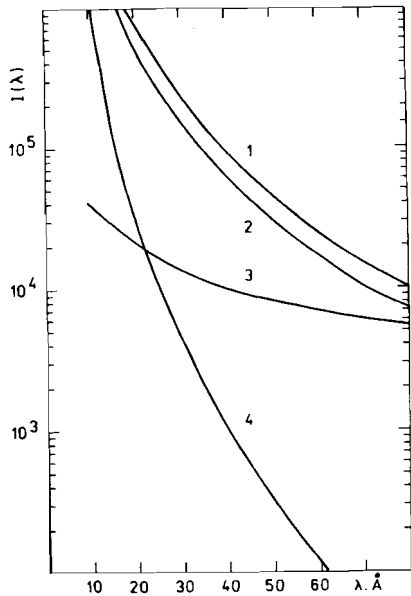


Рис.5. Зависимость потока ОХН на интервал  $d\lambda = 1 \text{ \AA}$  от длины волны ( $a = 187 \text{ мм}$ ). 1 — прямой нейтронпровод из никеля, 2 — прямой нейтронпровод из меди, 3 — изогнутый медный нейтронпровод с  $R = 30 \text{ м}$ , 4 — прямой пучок.

Поток ОХН на выходе изогнутого нейтронпровода равен

$$I(\lambda) d\lambda = N(\lambda) d\lambda \cdot S_{\text{ист}} \cdot e(\lambda),$$

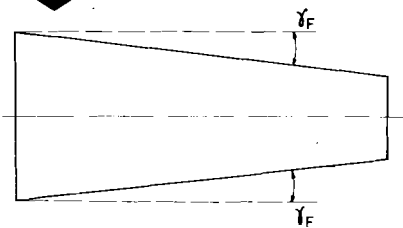
где  $S_{\text{ист}}$  — площадь источника ОХН ( $S_{\text{ист}} = 274 \text{ см}^2$  в случае, если источник перекрывает весь нейтронпровод). Расчеты спектров для  $d\lambda = 1 \text{ \AA}$  приведены на рис.5 для прямого (Ni, Cu) и изогнутого (Cu,  $R = 30 \text{ м}$ ) нейтронпроводов, а также для прямого пучка без нейтронпровода. Расчеты показывают, что при успешной борьбе с фоном запаздывающих нейтронов имеется большой выигрыш в интенсивности ОХН при увеличении  $R$  по сравнению с действующим нейтронпроводом с  $R = 30 \text{ м}$ .

3.5. Выходное сечение действующего нейтронпровода имеет очень большую площадь, что создает трудности при подборе образцов и затрудняет выполнение условий геометрии. Поэтому хотелось бы уменьшить размер пучка без существенной потери нейтронов. В некоторых случаях такую возможность дает использование "воронки". Из рис.4 видно, что в горизонтальной плоскости

$$\langle \gamma_h(\lambda)_{\text{Cu}} \rangle < 2\gamma_{\text{Cu}}^* < 2\gamma_{\text{Ni}}^*,$$

Поэтому плавное уменьшение пучка, например, с  $2\gamma_F \leq (2\gamma_{\text{Ni}}^* - \langle \gamma_h \rangle_{\text{Cu}})$  (см.рис.6), вероятно, не привело бы к заметной потере ОХН. Однако

Рис.6. Схема "воронки".



для точной оценки потерь необходимы расчеты. В вертикальной же плоскости угловая расходимость пучка ОХН мало отличается от критического угла рассеяния нейтронов на меди  $\langle \gamma_v \rangle_{\text{Cu}} \approx 2\gamma_{\text{Cu}}^*$  и только чуть меньше, чем на никеле. Поэтому такую "воронку" к действующему нейтронводу полезно, видимо, сделать только в горизонтальной плоскости.

3.6. Среднее число соударений нейтрона о стенку нейтронпровода примерно равно  $\frac{8}{3}$

$$n = \frac{L}{a} \langle \gamma(\lambda) \rangle.$$

Для  $\lambda = 70 \text{ \AA}$  число соударений о боковые стенки  $n \sim 5$ , а о нижнюю и верхнюю стенки  $n \sim 11$ . При меньших  $\lambda$  число соударений уменьшается.

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1. На рис.7 приведен спектр ОХН на выходе действующего "канала УХН" после вычитания фона. Отмечаем, что при работе с ОХН большую трудность создают фон запаздывающих нейтронов и спутники ИБР-2. К сожалению, с помощью изогнутого нейтронпровода удастся избавиться только от части фона. Вторая возможность — это фильтрация нейтронов с помощью таких материалов, как Ве, Не и др. Проведенные нами измерения пропускания ОХН через Ве фильтр как из спрессованного, так и литого Ве показали, что наряду с ослаблением запаздывающих нейтронов достаточно сильно ослабляется и поток ОХН. Это можно объяснить малоугловым рассеиванием Ве. Конечно, фильтр из монокристаллического Ве оказался бы очень полезен, но авторам не известна

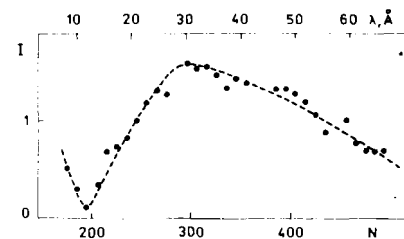
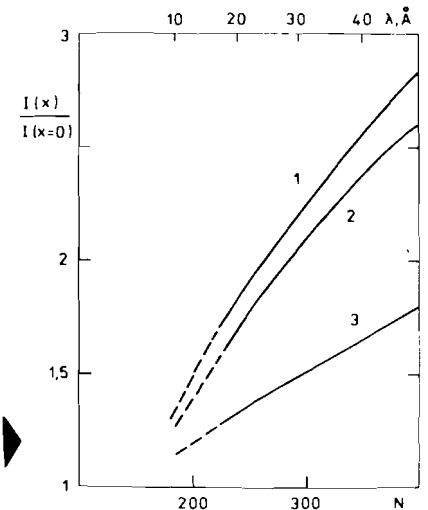


Рис.7. Спектр ОХН на выходе медного нейтронпровода с  $R = 30 \text{ м}$  на пучке № 3 ИБР-2.

Рис.8. Изменение потока ОХН от длины волны при наморозке воды на гидрид циркония: 1 —  $24 \text{ см}^3$ , 2 —  $16 \text{ см}^3$ , 3 —  $8 \text{ см}^3$ .



его судьба. Нам представляется, что одним из лучших фильтров ОХН в настоящее время является сверхтекучий He-II. Малое сечение в области ОХН и достаточно высокое в области тепловых и быстрых нейтронов, по-видимому, позволят успешно бороться с фоном запаздывающих нейтронов и сателлитами.

4.2. Для увеличения потока УХН на охлаждаемый гидрид циркония намораживалась вода при температуре  $15 \pm 20$  К. Поток УХН возрастает в  $\sim 15$  раз <sup>9/</sup>. Поток ОХН также увеличивается в несколько раз, но толщина намороженной воды была меньше 3 мм, что, конечно, недостаточно для максимального увеличения ОХН. На рис.8 показано изменение потока ОХН при намораживании на гидрид циркония различных количеств воды ( $x = 8; 16; 24$  см<sup>3</sup>) в зависимости от длины волны. Измерения были проведены при фильтрации пучка нейтронов охлажденным бериллием.

4.3. Для оценки пространственного распределения нейтронов вблизи замедлителя у активной зоны ИБР-2 были проведены исследования влияния отодвижки всего нейтронотода от штатного водяного замедлителя. Поток ОХН измерялся на выходе пучка № 3 в экспериментальной зале. Результаты измерений показаны на рис.9, из которого видно, что поток ОХН при увеличении щели между водяным замедлителем и замедлителем внутри нейтронотода изменяется относительно слабо. Это объясняется тем, что поток ОХН формируется как замедлителем, так и конструктивными деталями и биологической защитой реактора, размещенными практически вплотную к замедлителю. Можно говорить о некотором ослаблении обычно очень жесткого требования размещения ХИН или холодного конвертора УХН вблизи основного замедлителя. Поэтому собственно постройка ХИН внутри нейтронотода и становится возможной.

Хотелось бы, правда, отметить, что действующий источник УХН имеет сложную конструкцию со щелями между штатным водяным замедлителем и гидридом циркония ( $l \sim 25$  мм) и между гидридом циркония и дырочным замедлителем ( $l = 5$  мм). Поэтому нет экспериментального ответа на вопрос, насколько изменится поток ОХН при уменьшении этих щелей до нуля или когда штатный водяной замедлитель будет размещен внутри нейтронотода.

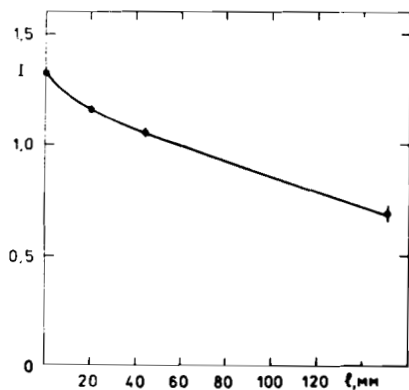
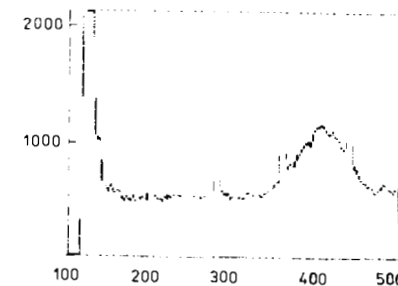


Рис.9. Изменение потока ОХН при увеличении щели ( $l$ ) между штатным водяным замедлителем и замедлителем, находящимся внутри нейтронотода.

Рис. 10. Спектр отраженных нейтронов от многослойного монохроматора Fe-Zr. Узкие пики относятся к сателлитам ИБР-2.



4.4 Разрешающая способность установки "канал ОХН" из-за очень большого времени пролета ОХН  $t \sim (10^{-2} \div 0,2)$  с, которое значительно больше ширины импульса мощности ИБР-2 и времени жизни нейтронов в замедлителе, определяется параметрами устройств, анализирующих ОХН по МВП. Оценка разрешающей способности была проведена с помощью многослойного монохроматора Fe-Zr, любезно предоставленного ЛИЯФ (Гатчина) <sup>10/</sup>. Многослойный монохроматор Fe-Zr имел следующие параметры: толщина слоя Fe — 55 Å, Zr — 51 Å, число пар слоев — 200,  $\lambda_1^B = 198$  Å,  $\Delta\lambda_1/\lambda_1^B \approx 10\%$ , коэффициент отражения — 68%.

На рис. 10 показан спектр ОХН, отраженный от многослойного монохроматора практически без коллимации в падающем и отраженном

пучке. При  $\frac{\Delta\theta}{\theta} \approx \frac{\Delta\lambda_1}{\lambda_1^B} \approx 0,1$  и при  $E \sim 15$  мкэВ мы получим  $\Delta E \sim 4$  мкэВ.

Принципиальным моментом в улучшении разрешающей способности является уменьшение  $\Delta\lambda_1/\lambda_1^B$ , что зависит от технологии приготовления многослойных монохроматоров. Думается, что величина  $\Delta E \sim 1 \div 2$  мкэВ вполне достижима в ближайшее время, если уже не в прошлом.

## 5. ВЫВОДЫ ПО ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ УСТАНОВКИ "КАНАЛ ОХН"

5.1. На рис. 11 схематично показан предлагаемый вариант установки "канал ОХН" на пучке №3 ИБР-2. Основными узлами установки являются: холодный источник нейтронов, нейтронотод, фильтр нейтронов, узел образца, спектрометрический узел "обратной геометрии", система автоматики, измерительный модуль, биологическая защита.

Для замедления нейтронов в ХИН желательно использовать материалы, которые будут эксплуатироваться в ХИН на пучках  $4 \div 6$  ИБР-2.

В качестве нейтронотода предлагается покрытая естественным никелем труба, изогнутая, с радиусом кривизны R.

Узел образца должен позволять устанавливать криостаты и термостаты, а также иметь механизм для автоматической смены нескольких образцов в обычных условиях.

Спектрометрический узел "обратной геометрии" включает в себя многослойные монохроматоры ( $10 \div 15$  шт.) и детекторную систему, перекрывающую диапазон углов рассеяния ОХН  $\theta \approx 10 \div 170^\circ$ .

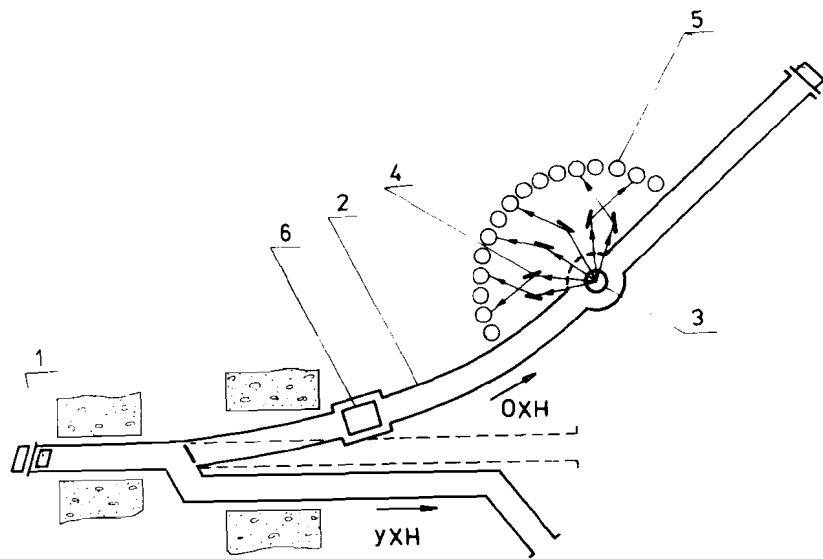


Рис. 11. Схема установки "канал ОХН". 1 — ХИН, 2 — нейтронпровод, 3 — узел образца, 4 — многослойные монохроматоры, 5 — детекторы, 6 — фильтр нейтронов.

Развитие измерительного модуля "ОХН" предполагается в направлении двухмашинного комплекса, таким образом, чтобы ЭВМ нижнего уровня — "Правец-16" занималась только управлением физической установкой, а ЭВМ верхнего уровня — IBM PC/AT выполняла накопление и предварительную обработку экспериментальных данных. Подготовка заданий на эксперимент, а также модификация ПО возлагается на ЭВМ верхнего уровня.

### 5.2. Параметры установки "канал ОХН"

1. Диапазон энергий нейтронов	(10 ÷ 1000) мкэВ
2. Разрешающая способность	1 ÷ 4 мкэВ
3. Область исследования квазиупругого рассеяния нейтронов	0,1 ÷ 100 мкэВ
4. Область исследования неупругого рассеяния нейтронов	1 ÷ 1000 мкэВ
	$10^{-2} \div 1 \text{ \AA}^{-1}$
5. Радиус кривизны нейтронпровода	30 м ÷ ∞
6. Углы рассеяния на образце	$10^\circ - 170^\circ$
7. Интенсивность нейтронов на выходе нейтронпроводов в интервале $\lambda = (10 \div 70) \text{ \AA}$ и разных R — без ХИН	$10^6 \div 10^7 \text{ н/с}$
— с ХИН	$10^7 \div 10^8 \text{ н/с}$

### Ориентировочная стоимость основных узлов установки "канал ОХН"

1. ХИН	100 тыс. руб.
2. Нейтронпровод	20 тыс. руб.
3. Узлы "обратной геометрии" и образца	100 тыс. руб.
4. Система автоматики	50 тыс. руб.
5. Измерительный модуль	80 тыс. руб.

Всего: 350 тыс. руб.

5.3. Установка "канал ОХН" позволяет вести исследования пропускания нейтронов, упругого, квазиупругого и неупругого рассеяния нейтронов. Все измерения проводятся методом времени пролета, а для исследований квазиупругого и неупругого рассеяния нейтронов используется метод "обратной геометрии". На рис. 12 показана область передач энергии и волнового вектора, доступная для исследований на данной установке.

Приведем несколько типов задач, которые могут быть решены на этой установке. Например, очень

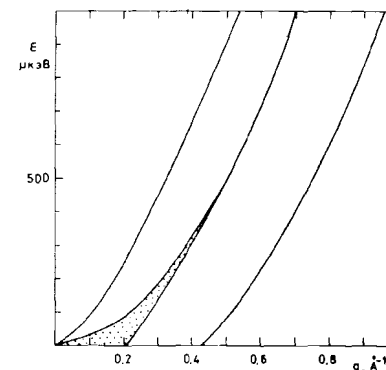


Рис. 12. Область исследований ( $\epsilon, q$ ) на установке "канал ОХН". Точки — конечная энергия нейтронов  $E_f = 20 \text{ мкэВ}$ , черточки —  $E_f = 100 \text{ мкэВ}$ .

интересны эксперименты по проверке такой фундаментальной теории, как отсутствие в сверхтекучем гелии-4 ветвей элементарных возбуждений ниже спектра Ландау. На данной установке может получить хорошее развитие исследование фрактальных структур. Привлекает внимание исследование пропускания нейтронов для материалов с экстремально малыми полными сечениями и многое другое.

Аналогов установки "канал ОХН", работающих в указанном диапазоне энергий, в мире нет. По разрешающей способности данную установку можно сравнивать с установками "обратного рассеяния" (backscattering), которых в СССР также нет. Установка "канал ОХН" по своей жизнеспособности больше всего подходит для использования на импульсном реакторе ИБР-2 вкуче с холодным источником нейтронов.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Голиков В.В. и др. – Сообщение ОИЯИ Р3-85-285, Дубна, 1985.
2. Барабаш И.П. и др. – ОИЯИ, 10-84,158, Дубна, 1984.
3. Ермаков В.А., Зимин Г.Н. – ОИЯИ, 10-83-194, Дубна, 1983.
4. Вагов В.А. и др. – ОИЯИ, Р3-82-770, Дубна, 1982.
5. Балука Г., Саламатин И.М. – Программирование, 1987, №4, с.79.
6. Кастилье Г. и др. – Сообщение ОИЯИ Р10-88-212, Дубна, 1988.
7. Guglielmi A. – Nuovo Cimento, 1987, v.98A, No.5, p.657.
8. Carlile C.J., Johnson M.W., Williams W.G. – RL-79-084.
9. Новости ОИЯИ №4, Дубна, 1988.
10. Булкин А.П. и др. – Препринт ЛИЯФ-609, Ленинград, 1980.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 июня 1989 года.