

**Проект "Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР"**

**Тема "Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИБР-2М"**

**Шифр темы:** 04-4-1122-2015/2020

**Авторы проекта:**

Круглов В.В. - г. Дубна, ОИЯИ

Балагуров А.М. - г. Дубна, ОИЯИ

Бобриков И.А. - г. Дубна, ОИЯИ

Симкин В.Г. - г. Дубна, ОИЯИ

Бокучава Г.Д. - г. Дубна, ОИЯИ

**Руководитель проекта:** Круглов В.В.

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В НОО \_\_\_\_\_

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ \_\_\_\_\_ НОМЕР ДОКУМЕНТА \_\_\_\_\_

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

**Проект "Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР"****Тема: «Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2.»****Шифр темы: 04-4-1122-2015/2020**

УТВЕРЖДЕН ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ	_____	«___»_____ 2017 г.
СОГЛАСОВАНО		
ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ	_____	«___»_____ 2017 г.
ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ	_____	«___»_____ 2017 г.
ПОМОЩНИК ДИРЕКТОРА ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ И ФИНАНСОВЫМ ВОПРОСАМ	_____	«___»_____ 2017 г.
ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР	_____	«___»_____ 2017 г.
НАЧАЛЬНИК НОО	_____	«___»_____ 2017 г.
ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ	_____	«___»_____ 2017 г.
ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ	_____	«___»_____ 2017 г.
РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА	_____	«___»_____ 2017 г.
ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА	_____	«___»_____ 2017 г.
ОДОБРЕН		
ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ	_____	«___»_____ 2017 г.

## Оглавление.

Введение.....	4
1. Международное сотрудничество и сторонние организации по проекту.....	4
2. Физическое и методическое обоснование.....	4
2.1. Статус и научная программа.....	4
2.2. Предложения по модернизации ФДВР.....	5
2.3. Основные характеристики детектора обратного рассеяния.....	8
2.4. Эффективность детектора.....	9
2.5. Оценка геометрического вклада в величину полного разрешения дифрактометра.....	10
2.6. Литература.....	11
3. Ожидаемые результаты и новые разработки.....	11
4. Конкурентоспособность.....	12
5. Компании-партнеры и организации поставщики оборудования.....	12
6. План-график работ.....	13
7. Сетевой график работ по проекту.....	14
8. Смета затрат.....	15

## ВВЕДЕНИЕ

Созданный коллаборацией ЛНФ ОИЯИ (Дубна), ПИЯФ (Гатчина) и VTT (Espoo, Finland) Фурье-дифрактометр высокого разрешения (ФДВР) стационарно действует на ИБР-2 с 1995 года. Его исходная конструкция, принцип действия и номинальные параметры подробно описаны в работе [1]. В работах [2, 3] приведены примеры проведенных многочисленных исследований на ФДВР и сформулированы идеи по возможному развитию дифрактометра. В последние несколько лет на ФДВР проходила замена некоторых основных узлов, устаревших морально или выработавших свой ресурс. В частности, в 2016 году введены в эксплуатацию новые зеркальный нейтронотвод и быстрый Фурье-прерыватель, ранее произошла полная смена электроники накопления дифракционных спектров и управления экспериментом. В настоящее время наиболее важным пунктом в программе дальнейшей модернизации ФДВР является замена существующих детекторов обратного рассеяния на новую версию.

## 1. Международное сотрудничество и сторонние организации по проекту

### Список участников и организаций

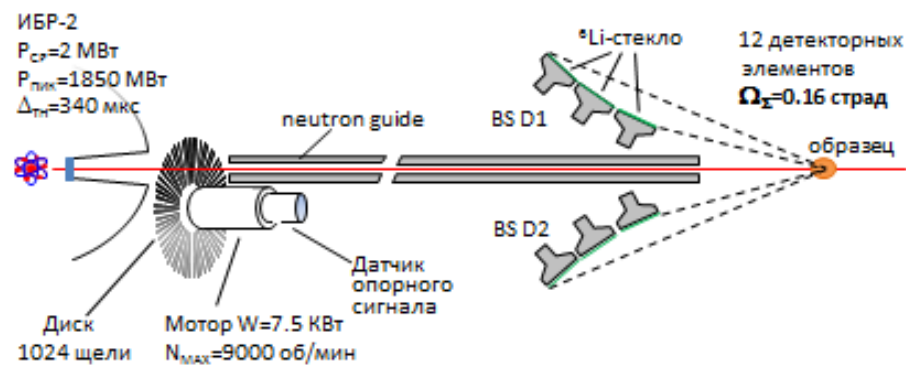
Страна или международная организация	Город	Институт подрядчик	Участники	Статус
Россия	Дубна	НПО «АТОМ»		Договор
Республика Беларусь	Минск	БГУ	Кутень С.А.	Протокол

## 2. Физическое и методическое обоснование

### 2.1. Статус и научная программа.

Любой современный нейтронный дифрактометр высокого разрешения является сложной и дорогой установкой, поэтому прецизионные нейтронографические эксперименты с очень высоким (на уровне  $\Delta d/d \approx 0.002$  и лучше) разрешением ведутся в настоящее время только в нескольких, наиболее развитых нейтронных лабораториях мира. В настоящее время в России это возможно только в ЛНФ ОИЯИ (Дубна). Более того, дифрактометр ФДВР на реакторе ИБР-2 является одной из трех-четырех нейтронных дифракционных установок в мире, где можно осуществлять эксперименты, требующие разрешающей способности  $\Delta d/d \approx 0.001$  и лучше. Основным назначением ФДВР является **прецизионный структурный анализ поликристаллических веществ** со средним (до  $\sim 500 \text{ \AA}^3$ ) объемом элементарной ячейки. Типичными примерами являются исследование соединений высокотемпературных сверхпроводников на основе ртуты с различным содержанием кислорода или фтора в базисной плоскости [4, 5] и легированных манганитов с эффектом колоссального магнетосопротивления [6, 7], современных функциональных сплавов и электродных материалов [8, 9]. ФДВР используется и для **анализа монокристаллов**, если требуется его уникально высокое разрешение по  $d_{hkl}$ , например, при изучении разделения фаз в кристаллах  $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ , возникающего в результате низкотемпературной диффузии сверхстехиометрического кислорода [10].

Схема ФДВР на реакторе ИБР-2 представлена на **Рис.1**.



**Рис.1.** Схема ФДВР на реакторе ИБР-2.

В настоящее время детекторная система ФДВР состоит из трех детекторов, два из которых расположены при углах рассеяния  $\pm 152^\circ$ , третий при  $90^\circ$ . Первые два используются в основном для исследований структуры поликристаллов, третий - в основном для измерений внутренних напряжений. Детектирующим элементом являются сцинтилляторы на основе Li-стекло. С современной точки зрения детекторы ФДВР имеют два недостатка: повышенную чувствительность к  $\gamma$ - фону и недостаточно большой телесный угол ( $\sim 0.16$  ср.). Из-за этого получаемые дифракционные спектры имеют повышенный фон и малую (по современным критериям) скорость набора данных при том, что поток нейтронов на образце достаточно высок ( $10^7$  н/см<sup>2</sup>/с). Так, дифракционный спектр, накопленный на TOF дифрактометре POWGEN3 (SNS/ORNL,  $\Delta d/d \approx 0.001$ ) за счет детектора большой площади на основе ZnS(Ag) (Телесный угол, перекрываемый детектором, составляет 1.5 ср.) будет иметь низкий фон и статистику в  $\sim 10$  раз лучшую по сравнению со спектром от такого же образца, измеренного на ФДВР. На устранение этих недостатков нацелен данный проект. Его реализация позволит кардинально улучшить параметры дифрактометра ФДВР и выведет его на лидирующие позиции в мире. Оценки показывают, что решение этих задач позволит примерно в два-три раза увеличить число проводимых экспериментов, при этом заметно поднять точность получаемой структурной информации, а также существенно расширить возможности дифрактометра по выполнению экспериментов при задании различных внешних воздействий на образец.

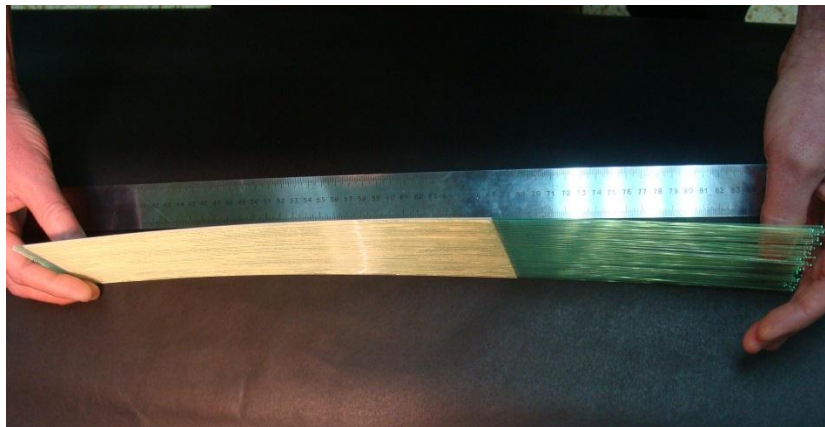
## 2.2. Предложения по модернизации ФДВР.

Предлагается заменить существующие детекторы обратного рассеяния, показанные на **Рис.1**, на новый широкоапертурный сцинтилляционный детектор на основе сцинтиллятора ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF с использованием комбинированной электронно-геометрической фокусировки.

Новый детектор перекрывает углы рассеяния  $2\Theta=(133-175)^\circ$ . Полный телесный угол, соответствующий этим углам рассеяния примерно равен  $\Omega_\Theta \approx 2.0$  ср. Технологические и технические решения, применяемые в настоящее время в Лаборатории, позволяют практически полностью исключить технологические потери при перекрытии телесного угла. Таким образом, по сравнению с существующим детектором в ФДВР телесный угол увеличится до  $\sim 12.5$  раз.

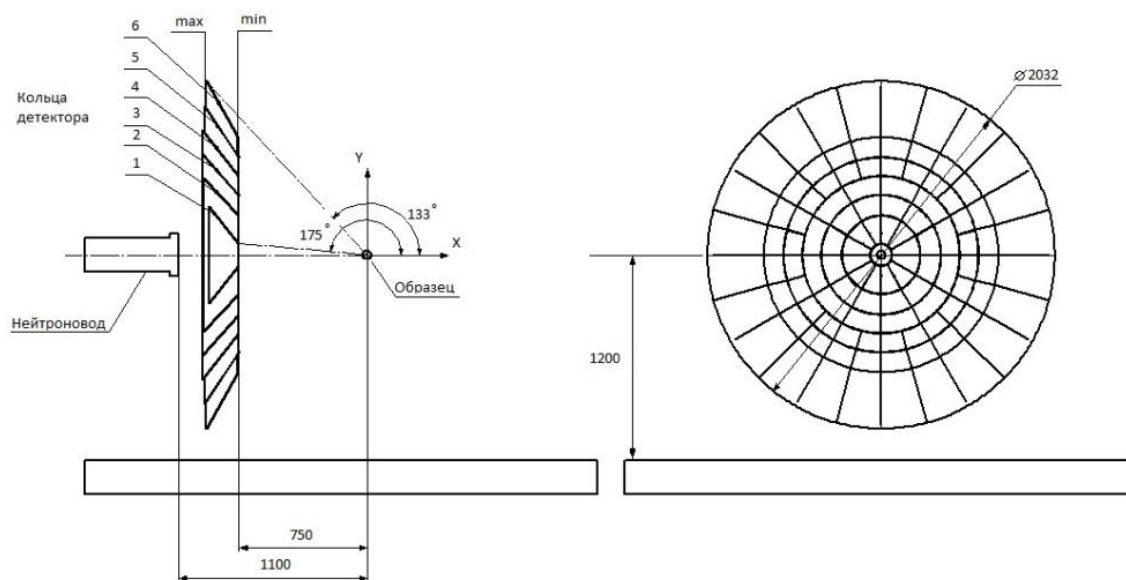
Для обеспечения высокого и сверхвысокого разрешения детектор выполняется на основе тонкого, толщиной 0.42 мм, ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF-сцинтилляционного экрана. Сбор и проводка света от сцинтилляционных экранов на фотоумножители осуществляется оптическими спектросмещающими волокнами. Детальное описание особенностей применения ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF-сцинтилляционного экрана приводится в работе [11]. Для

иллюстрации схемы сбора света на **Рис.2** показан элемент сцинтилляционного экрана совместно с наклеенными на него с двух сторон оптическими спектросмещающими волокнами.

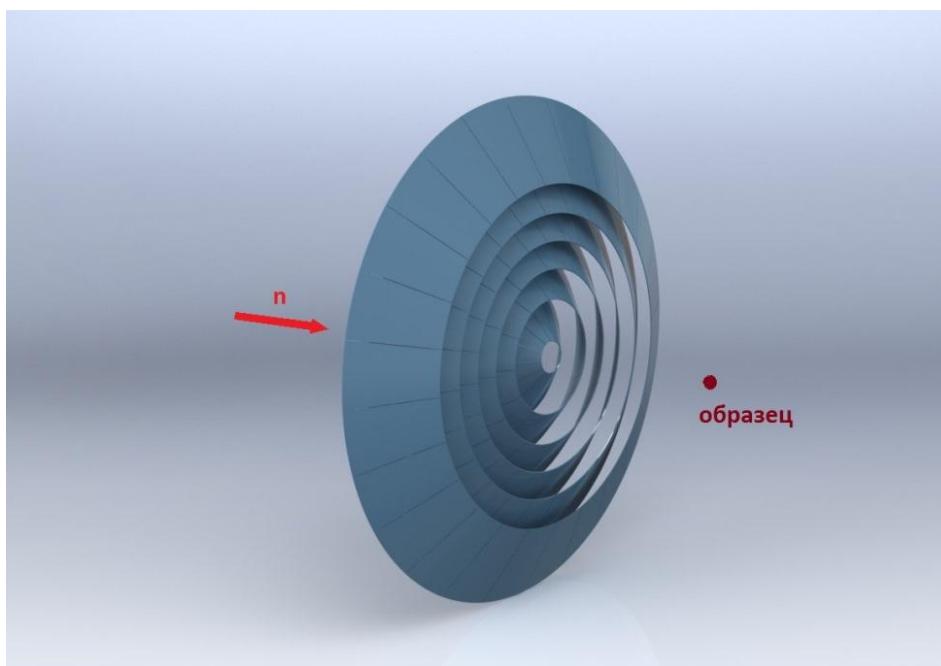


**Рис.2.** Элемент сцинтилляционного экрана (пластинка белого цвета) совместно с наклеенными на него с двух сторон оптическими спектросмещающими волокнами. Искривлённая форма экрана обусловлена требованием пространственно-временной фокусировки.

На **Рис.3** схематично показан предлагаемый вариант детектора с большой апертурой, а на **Рис.4** – его пространственное изображение. На рисунках показаны только сцинтилляционные экраны и их расположение относительно оси пучка и образца.



**Рис.3.** Схема детектора обратного рассеяния с большой апертурой.



**Рис.4.** Пространственное изображение детектора с большой апертурой.

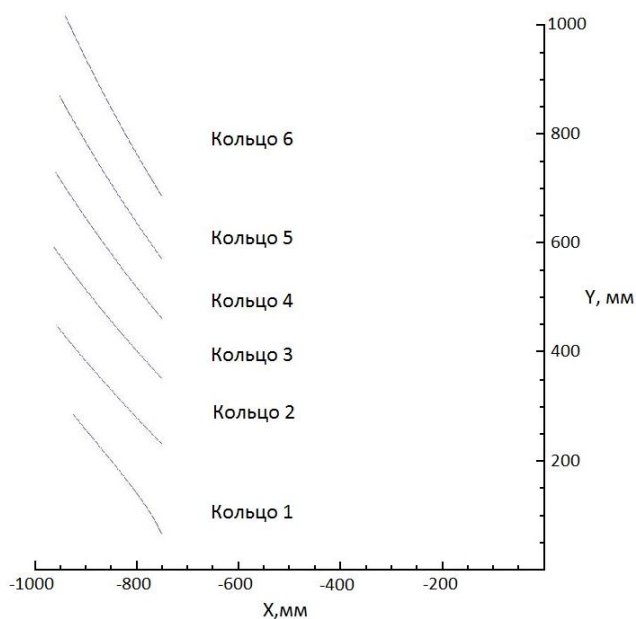
Из рисунка видно, что детектор имеет кольцевую структуру, отражающую осевую симметрию рассеяния нейтронов на образце. Детектор содержит 6 кольцевых сборок (колец) из сцинтилляционных экранов. Три внешних кольца разделены на секторы по  $15^\circ$ , а три внутренних – на секторы по  $30^\circ$ . Шесть кольцевыхборок полностью перекрывают область углов рассеяния  $2\Theta=(133-175)^\circ$ . Полный телесный угол детектора составляет  $\Omega_D \approx 2$  ср.

Каждый сектор на схеме представляет собой независимый детекторный элемент, состоящий из сцинтилляционного экрана, спектросмещающих волокон для сбора света и ФЭУ. Сцинтилляционный экран в каждом секторе не сплошной, а состоит из более мелких, плотно подогнанных друг к другу фрагментов, которые с требуемой точностью следуют форме поверхности пространственно-временной фокусировки.

Выход каждого ФЭУ подключается к Системе сбора и накопления информации, разработанной в Лаборатории. Детали Системы подробно описаны в [12]. Система позволяет принимать и обрабатывать информацию от 240 независимых детекторов, подавляя события, вызванные фоновыми  $\gamma$ -квантами. Система выполнена в стандарте NIM. В полной конфигурации она состоит из 8 блоков усилителей-дискриминаторов, на 32 входа каждый, и одного блока для накопления данных.

### 2.3. Основные характеристики детектора обратного рассеяния.

Форма детекторных элементов всех 6 колец детектора, удовлетворяющих условию пространственно-временной фокусировки, приведена на **Рис.5**.



**Рис.5.** Форма детекторных элементов колец детектора.

В **Таблице 1** приведены основные геометрические характеристики колец детектора, дающие представление о его размещении на дифрактометре ФДВР.

Величина	Кольцо №1	Кольцо №2	Кольцо №3	Кольцо №4	Кольцо №5	Кольцо №6
$\theta_{max}, ^\circ$	175.047	162.913	154.917	148.417	142.721	137.547
$\theta_{min}, ^\circ$	162.913	154.917	148.417	142.721	137.547	132.745
$l, \text{ мм}$	280	300	320	340	360	380
$X_{max}, \text{ мм}$	-750.00	-750.00	-750.00	-750.00	-750.00	-750.00
$Y_{max}, \text{ мм}$	65.00	230.55	351.05	461.10	570.91	686.12
$X_{min}, \text{ мм}$	-923.44	-956.79	-961.40	-958.44	-950.62	-938.82
$Y_{min}, \text{ мм}$	283.86	447.84	591.07	729.58	869.65	1015.77
$\Delta\Omega, \text{ страд}$	0.02117	0.02627	0.02818	0.01471	0.01515	0.01547
$\Omega, \text{ страд}$	0.25388	0.31518	0.33814	0.35300	0.36360	0.37127

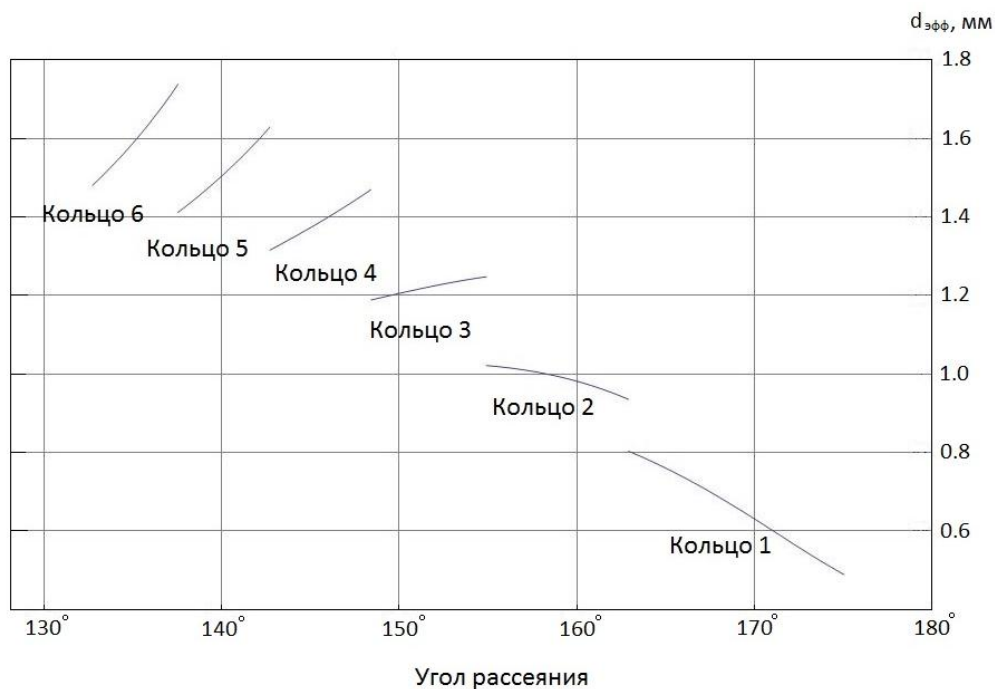
**Таблица 1.** Основные геометрические характеристики колец детектора обратного рассеяния.

$\theta_{max}, \theta_{min}$  – максимальный и минимальный угол рассеяния, который перекрывается кольцом;  $l$  – длина детекторных элементов на **Рис.5**;  $X_{max}, X_{min}, Y_{max}, Y_{min}$  – координаты концевых точек сцинтилляционного экрана каждого кольца;  $\Delta\Omega$  – телесный угол, перекрываемый одним сектором кольца;  $\Omega$  – полный телесный угол, перекрываемый кольцом.

Зависимость эффективной толщины детектора ( $d_{эфф}$ ) от угла рассеяния, то есть толщины, которую встречает на своём пути рассеянный на образце нейтрон, представлена на **Рис.6**. Эта толщина определяет как эффективность детектора, так и даёт вклад в геометрическую компоненту разрешения дифрактометра. Расчёты эффективной толщины



выполнены, исходя из реальной толщины сцинтилляционного экрана 0.42 мм, которая является оптимальной, с точки зрения баланса между эффективностью и прозрачностью.

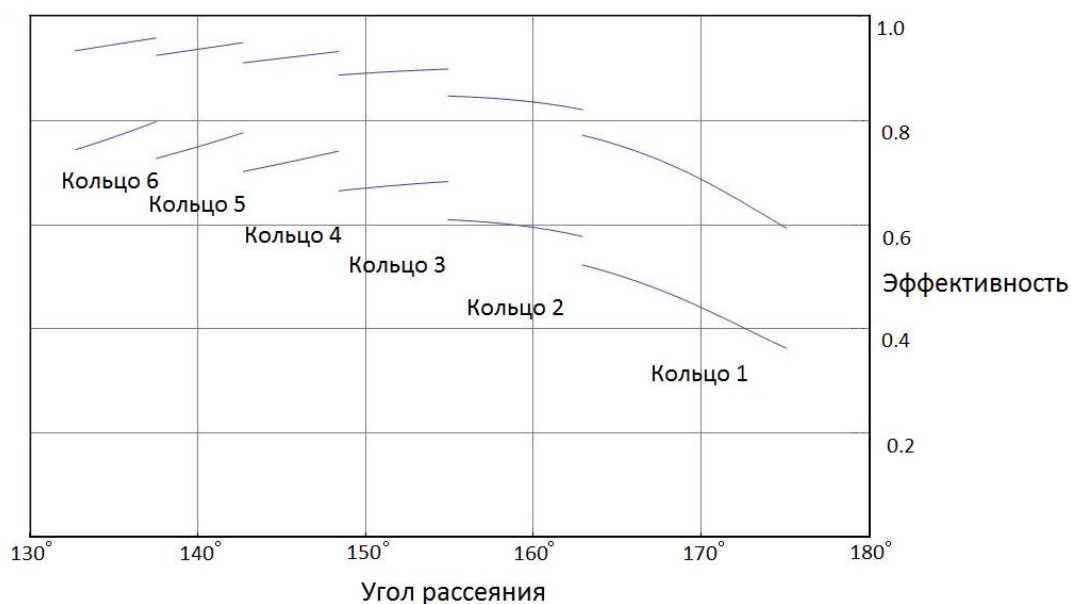


**Рис.6.** Зависимость эффективной толщины детектора ( $d_{эфф}$ ) от угла рассеяния.  
Толщина сцинтилляционного экрана 0.42 мм.

#### 2.4. Эффективность детектора.

Зависимость эффективности детектора от угла рассеяния, рассчитанная на основании данных **Рис.6**, приведена на **Рис.7**. Нижний набор кривых на последнем рисунке соответствует стандартной толщине сцинтилляционного экрана 0.42 мм. Эффективность детектора в этом случае изменяется в диапазоне от 36% до 80% и в среднем оказывается на уровне 65%.

Останавливаться на такой, столь невысокой эффективности, учитывая достаточно высокую сложность механической конструкции детектора обратного рассеяния, необходимую для обеспечения высокой точности и стабильности размещения сцинтилляционных экранов, нецелесообразно. Добавление второго слоя сцинтиллятора существенно меняет возможности детектора. Как видно из верхнего набора кривых на Рис.6, диапазон эффективности становится равным 59%-96% и в среднем возрастает до уровня 85%. Такое увеличение эффективности в совокупности с возросшей до двух стерадиан апертурой выводит детектор обратного рассеяния на совершенно новый уровень. Механическая конструкция детектора при добавлении второго слоя остаётся практически без изменений.



**Рис.7.** Зависимость эффективности детектора от угла рассеяния.

## 2.5. Оценка геометрического вклада в величину полного разрешения дифрактометра.

Оценка геометрического вклада в величину полного разрешения была выполнена при учёте только эффективной толщины детектора и различных размеров исследуемого на дифрактометре образца  $\Phi_{обр}$  от 1 мм до 8 мм. Предполагалось, что форма сцинтилляционного экрана точно соответствует форме поверхности временной фокусировки и исходная расходимость нейтронного пучка равна нулю. Результаты этой оценки приведены в **Таблице 2**. Приведённые в таблице цифры показывают, что для выбранной геометрии детектора вклад от толщины сцинтилляционного экрана и размера образца в величину полного разрешения дифрактометра существенно ниже допустимого (0.001). Технологические и технические решения, применяемые в настоящее время в Лаборатории, позволяют обеспечить следование формы экрана поверхности временной фокусировки с необходимой точностью.

$\Phi_{обр}$ , мм	1	2	3	4	5	6	7	8
$\langle \Delta_1 \rangle$	$4.0 \times 10^{-5}$	$6.9 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
$\langle \Delta_2 \rangle$	$4.6 \times 10^{-5}$	$7.3 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
$\langle \Delta_3 \rangle$	$5.1 \times 10^{-5}$	$7.6 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
$\langle \Delta_4 \rangle$	$5.5 \times 10^{-5}$	$7.9 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
$\langle \Delta_5 \rangle$	$5.8 \times 10^{-5}$	$8.1 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
$\langle \Delta_6 \rangle$	$6.1 \times 10^{-5}$	$8.2 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$

**Таблица 2.** Геометрический вклад в полное разрешение дифрактометра.

$\Phi_{обр}$  – размер образца;  $\langle \Delta_i \rangle = 2.36\sigma_i$  – величина ошибки для  $i$ -ого кольца детектора.

## 2.6. Литература

1. Aksenov V.L., Balagurov A.M., Simkin V.G., Bulkin A.P. et al., "Performance of the high resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor" J. of Neutron Research, 1997, v.5, pp. 181-200. Препринт ОИЯИ, P13-96-164, Дубна, 1996.
2. Balagurov A.M., "High resolution Fourier diffraction at the IBR-2 reactor" Neutron News, 16 (2005) 8-12.
3. Balagurov A.M., Kudrjashev V.A., "Correlation Fourier diffractometry for long-pulse neutron sources: a new concept" ICANS-XIX conference, 08-12.04.2010, Grindenwald, Switzerland.
4. Aksenov V.L., Balagurov A.M., Sikolenko V.V., Simkin V.G. et al., "Precision neutron diffraction study of the high- $T_c$  superconductor  $HgBa_2CuO_{4+\delta}$ " *Phys. Rev. B*, 1997, v.55, pp.3966-3973.
5. Abakumov A.M., Aksenov V.L., Antipov E.V., Balagurov A.M. et al., "Effect of fluorination on the structure and superconducting properties of the Hg-1201 phase" *Phys. Rev. Lett.*, 1998, v.80(2), pp.385-388.
6. Balagurov A.M., Pomjakushin V.Yu., Sheptyakov D.V., Aksenov V.L. et al., "Effect of oxygen isotope substitution on magnetic structure of  $(La_{0.25}Pr_{0.75})_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ " *Phys. Rev. B*, v.60(1), 1999, pp.383-387.
7. Balagurov A.M., Pomjakushin V.Yu., Sheptyakov D.V., Aksenov V.L. et al., "A-cation size and oxygen isotope substitution effects on  $(La_{1-y}Pr_y)_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$  structure" *Eur. Physical J. B*, 2001, v. 19 (2), pp.215-223.
8. Golovin I.S., Balagurov A.M., Palacheva V.V., Bobrikov I.A. et al., In situ neutron diffraction study of bulk phase transitions in Fe-27Ga alloys, *Materials and Design* 98 (2016) 113-119
9. Bobrikov I.A., Balagurov A.M., Chih-Wei Hu, Chih-Hao Lee et al., Structural evolution in LiFePO<sub>4</sub>-based battery materials: in-situ and ex-situ time-of-flight neutron diffraction study, *Journal of Power Sources* 258, 356-364 (2014)
10. Balagurov A.M., Pomjakushin V.Yu., Simkin V.G., Zakharov A.A. "Neutron diffraction study of phase separation in  $La_2CuO_{4+y}$  single crystals" *Physica C*, 1996, v.272, pp.277-284.
11. Kuzmin E.S., Balagurov A.M., Bokuchava G.D., Kudryashev V.A. et al., Detector for the FSD Fourier Diffractometer based on  $ZnS(Ag)/^6LiF$  Scintillation Screen and Wavelength shifting Fibers Readout. Препринт ОИЯИ E13-2001-204.
12. Levchanovskiy F.V., Murashkevich S.M. "The Data Acquisition System for Neutron Spectrometry – a New Approach and Implementation" NEC'2013, pp.176-179.

## 3. Ожидаемые результаты и новые разработки

В рамках проекта планируется:

1. Разработать технический проект Детектора Обратного Рассеяния (ДОР) ФДВР.
2. Адаптировать существующую технологию изготовления сцинтилляционного детектора для детектора ДОР ФДВР.
3. Разработать и изготовить оснастку для массового производства секторов детектора.
4. Разработать и изготовить механические узлы детектора.
5. Разработать и изготовить стенд для тестирования секторов детектора.
6. Изготовить один сектор детектора и провести его тестирование на стенде.
7. Изготовить и настроить МРД-блоки детекторной электроники и электроники сбора и накопления данных; разработать и отладить программное обеспечение.

#### 4. Конкурентоспособность

Детектор является уникальной научно-технической разработкой, создание которого выведет дифрактометр ФДВР в мировые лидеры среди аналогичных экспериментальных установок.

#### 5. Компании-партнеры и организации поставщики оборудования:

Страна или международная организация	Город	Институт подрядчик	Участники	Статус
США		Vicron		Договор
Япония		Hamamatsu		Договор
Россия	Дубна	НПО "Аспект"		Договор
Италия		CAEN		Договор

## 6. План-график работ

Форма № 26

### Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления проекта "Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния для дифрактометра ФДВР"

Наименование узлов и систем установки, ресурсов, источников финансирования		Стоимость узлов установки (тыс. долл.)	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов			
			Потребности в ресурсах	2018	2019	2020
Основные узлы и оборудование	1. Комплекты фотоумножителей			190		
	2. Фибера			120		
	3. Сцинтиллятор		130			
	4. Источник тока			100		
	5. Электроника сбора и накопления данных			20	20	
	6. Узлы крепления и расходные материалы		50	90	90	
Источник финансирования	Бюджет	Тема	810	180	520	110

Необходимые ресурсы	Нормо-час	Мех. Мастерские ЛНФ	500		250	250
		АТОМ	1000		500	500

Оценка расходов проведена по курсу ЦБ РФ доллара к рублю (на 11.04.2017 г.) - 57 рублей 14 копеек за один доллар США.

Руководитель проекта

В.В. Круглов

**7. Сетевой график работ по проекту "Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния для дифрактометра ФДВР"**

N		2018		2019		2020	
		I	II	I	II	I	II
1	Разработка технического проекта детектора обратного рассеяния						
2	Изготовление оснастки для изготовления элементов детектора						
3	Закупка оборудования и расходных материалов						
4	Создание электроники для сбора и накопления данных на 240 каналов						
5	Закупка источника тока для систем с большим количеством фотоумножителей						
6	Изготовление рамы детектора и элементов секций детектора						
7	Сборка первой секции детектора с системами сбора и накопления данных и программным обеспечением						
8	Испытания первой секции в лабораторных условиях						

## 8. Смета затрат

Форма № 29

**Смета затрат по проекту  
«Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния для  
дифрактометра ФДВР»**

№	Наименование статей затрат	Полная стоимость	2018	2019	2020
<b>Прямые расходы</b>					
1			-	-	
2	КБ				
3	Материалы	тыс.\$	165	230	20
4	Оборудование	тыс.\$	15	290	90
5	Оплата НИР, выполняемых по договорам	тыс.\$			
6	Командировочные расходы	тыс.\$ по плану МТС			
	а) в страны нерублевой зоны		8	8	8
	б) в города стран рублевой зоны		2	2	2
	в) по протоколам		-	-	
Итого по прямым расходам		<b>840</b>	<b>190</b>	<b>530</b>	<b>120</b>

Оценка расходов проведена по курсу ЦБ РФ доллара к рублю (на 11.04.2017 г.) - 57 рублей 14 копеек за один доллар США.

**Руководитель проекта**

\_\_\_\_\_ В.В. Круглов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Директор ЛНФ**

\_\_\_\_\_ В.Н. Швецов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Экономист ЛНФ**

\_\_\_\_\_ Л.С. Овсянникова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.