

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

**Тема «Научно-методические исследования и разработки для изучения
конденсированных сред на нейтронных пучках ИБР-2»**

Шифр темы: 04-4-....-2021/2025

Авторы проекта:

Балагуров А.М. - г. Дубна, ЛНФ ОИЯИ

Бобриков И.А. - г. Дубна, ЛНФ ОИЯИ

Круглов В.В. - г. Дубна, ЛНФ ОИЯИ

Милков В.М. - г. Дубна, ЛНФ ОИЯИ

Симкин В.Г. - г. Дубна, ЛНФ ОИЯИ

Руководитель проекта: Круглов В.В.

Заместитель руководителя проекта: Милков В.М.

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В НОО _____

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ _____ НОМЕР ДОКУМЕНТА _____

ДАТА НАЧАЛА ПРОЕКТА _____

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

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

**Тема: «Научно-методические исследования и разработки для изучения
конденсированных сред на нейтронных пучках ИБР-2»**

Шифр темы: 04-4-....-2021/2025

Руководитель проекта: Круглов Владимир Васильевич

УТВЕРЖДЕН ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ _____ « ____ » _____ 2020 г.

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ _____ « ____ » _____ 2020 г.

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ _____ « ____ » _____ 2020 г.

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР _____ « ____ » _____ 2020 г.

НАЧАЛЬНИК НОО _____ « ____ » _____ 2020 г.

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ _____ « ____ » _____ 2020 г.

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ _____ « ____ » _____ 2020 г.

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА _____ « ____ » _____ 2020 г.

ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА _____ « ____ » _____ 2020 г.

ОДОБРЕН

ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ _____ « ____ » _____ 2020 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. Основные характеристики детектора обратного рассеяния.....	6
2.3. Эффективность детектора.....	9
2.4. Оценка геометрического вклада в величину полного разрешения дифрактометра.....	10
2.5. Литература.....	11
3. Ожидаемые результаты и новые разработки.....	13
4. Конкурентоспособность.....	13
5. Компании-партнеры и организации поставщики оборудования.....	13
6. План-график работ.....	14
7. Смета затрат.....	16

ВВЕДЕНИЕ

Созданный коллаборацией ЛНФ ОИЯИ (Дубна), ПИЯФ (Гатчина) и VTT (Espoo, Finland) Фурье-дифрактометр высокого разрешения (ФДВР) работает 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 была выполнена замена некоторых морально устаревших или выработавших свой ресурс основных узлов. 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. Современный статус ФДВР описан в работе [4].

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.	Договор

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-четырёх 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 ртути с различным содержанием кислорода или фтора в базисной плоскости [5, 6] и легированных манганитов с эффектом колоссального магнетосопротивления [7, 8], современных функциональных сплавов и электродных материалов [9, 10]. 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 [11].

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

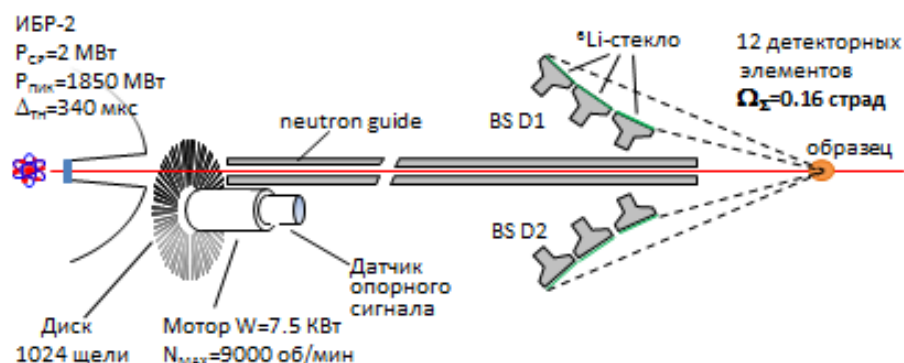


Рис.1. Схема ФДВР на реакторе ИБР-2.

В настоящее время детекторная система ФДВР состоит из трех детекторов, два из которых расположены при углах рассеяния $\pm 152^\circ$, а третий при 90° . Первые два используются в основном для исследований структуры поликристаллов, третий - для измерений внутренних напряжений. Детектирующим элементом являются сцинтилляторы на основе Li-стекло. С современной точки зрения детекторы ФДВР имеют два недостатка: повышенную чувствительность к γ - фону и недостаточно большой телесный угол (~ 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/см²/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 ~ 10 раз лучшую по сравнению со спектром от такого же образца, измеренного на ФДВР.

Для устранения этих недостатков в 2017 г. было предложено заменить существующие детекторы обратного рассеяния, показанные на **Рис.1**, на новый широкоапертурный сцинтилляционный детектор на основе сцинтиллятора ZnS(Ag)⁶LiF с использованием комбинированной электронно-геометрической фокусировки. Создание такого детектора позволит кардинально улучшить параметры дифрактометра ФДВР и вывести его на лидирующие позиции в мире. Оценки показывают, что использование нового широкоапертурного детектора позволит примерно в два-три раза увеличить число проводимых экспериментов, при этом заметно повысится точность получаемой структурной информации, а также существенно расширятся возможности дифрактометра по выполнению экспериментов при задании различных внешних воздействий на образец.

В качестве первого этапа работ по созданию нового детектора в 2017 г. в рамках Темы: 04-4-1122-2015/2020 был открыт проект **"Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР"** со сроком исполнения 2018-2020 г.

В рамках этого проекта планировалось:

1. Разработать технический проект Детектора Обратного Рассеяния (ДОР) для ФДВР.

2. Адаптировать существующую технологию изготовления сцинтилляционных детекторов 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 MPD-блоки детекторной электроники и электроники сбора и накопления данных; разработать и отладить программное обеспечение.

В настоящее время данный проект успешно завершается в полном соответствии с планом-графиком.

Предлагаемый проект: **"Создание широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР"** нацелен на завершение работ по созданию нового детектора ДОР.

2.2. Основные характеристики широкоапертурного детектора*

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 ~ 12.5 раз.

Для обеспечения высокого и сверхвысокого разрешения детектор выполняется на основе тонкого, толщиной 0.42 мм, ZnS(Ag)/⁶LiF-сцинтилляционного экрана. Сбор и проводка света от сцинтилляционных экранов на фотоумножители осуществляется оптическими спектросмещающими волокнами. Детальное описание особенностей применения ZnS(Ag)/⁶LiF-сцинтилляционного экрана приводится в работе [12].

На **Рис.2** схематично показан предлагаемый вариант 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° , а три внутренних – на секторы по 30° . Шесть кольцевыхборок полностью перекрывают область углов рассеяния $2\Theta=(133-175)^\circ$. Полный телесный угол детектора составляет $\Omega_D \approx 2$ ср.

*Основные параметры широкоапертурного детектора были определены при подготовке Проекта ДОР (в рамках темы: 04-4-1122-2015/2020), который выполняется в настоящее время, и приводятся здесь для справки.

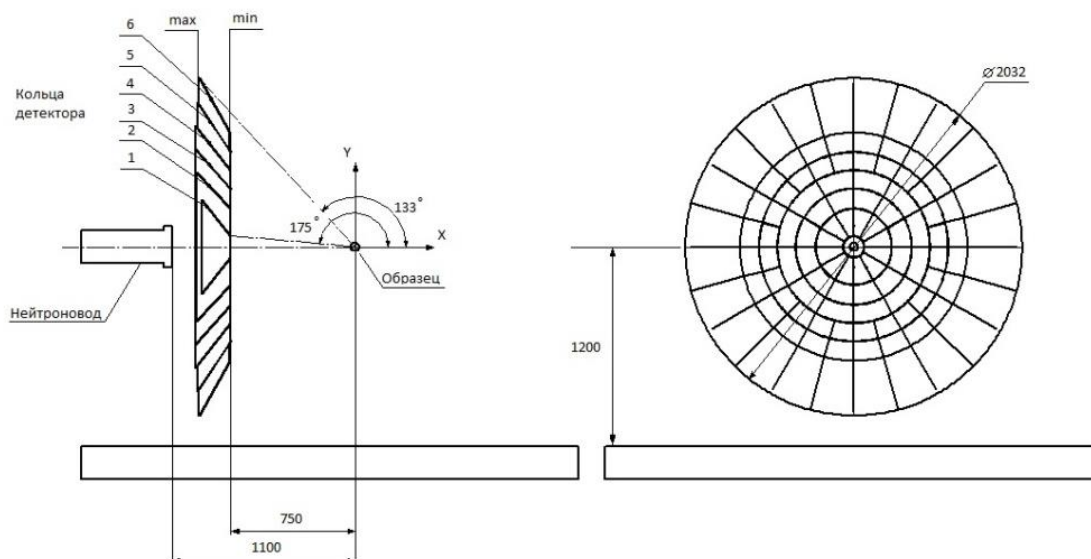


Рис.2 . Схема детектора обратного рассеяния с большой апертурой.

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 DAQ-системе сбора и накопления информации MPD32, разработанной в Лаборатории. Детали Системы подробно описаны в [13]. Система позволяет принимать и обрабатывать информацию от 240 независимых детекторов, подавляя события, вызванные фоновыми γ -квантами. Система выполнена в конструктиве NIM. В полной конфигурации она состоит из 8 блоков усилителей-дискриминаторов, на 32 входа каждый, и одного цифрового блока для накопления данных.

В настоящее время разрабатывается новый вариант системы сбора и накопления информации на базе MPD32, включающего 32-канальный дискриминатор, временной кодировщик, гигабитный трансивер и интерфейс USB3.0, разработан рабочий вариант документации и изготовлены опытные образцы плат и блоков, получивших название MPD32-USB3 [14, 15].

Форма детекторных элементов всех 6 колец детектора, удовлетворяющих условию пространственно-временной фокусировки, показана на **Рис.3**.

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

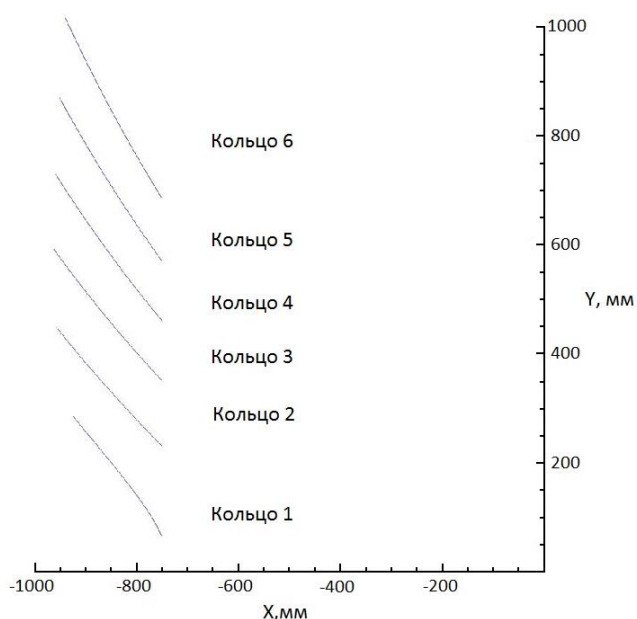


Рис.3. Форма детекторных элементов колец детектора.

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, где: $\theta_{max}, \theta_{min}$ – максимальный и минимальный углы рассеяния, которые перекрывается кольцом; l – длина детекторных элементов на **Рис.3**; $X_{max}, X_{min}, Y_{max}, Y_{min}$ – координаты концевых точек сцинтилляционного экрана каждого кольца; $\Delta\Omega$ – телесный угол, перекрываемый одним сектором кольца; Ω – 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.4**. Эта толщина определяет как эффективность детектора, так и 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.

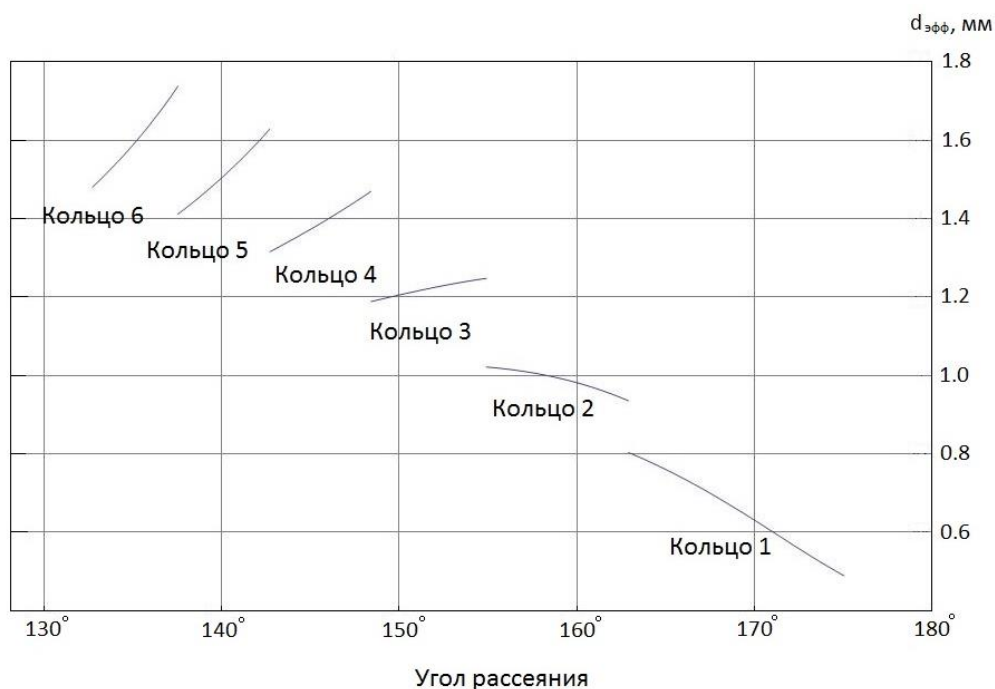


Рис.4. Зависимость эффективной толщины детектора ($d_{эфф}$) от угла рассеяния. Толщина сцинтилляционного экрана 0.42 мм.

2.3. Эффективность детектора

Зависимость эффективности детектора от угла рассеяния, рассчитанная на основании данных **Рис.4**, приведена на **Рис.5**. 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 создаваемый детектор обратного рассеяния на совершенно новый уровень. Механическая конструкция детектора при добавлении второго слоя остаётся практически без изменений.

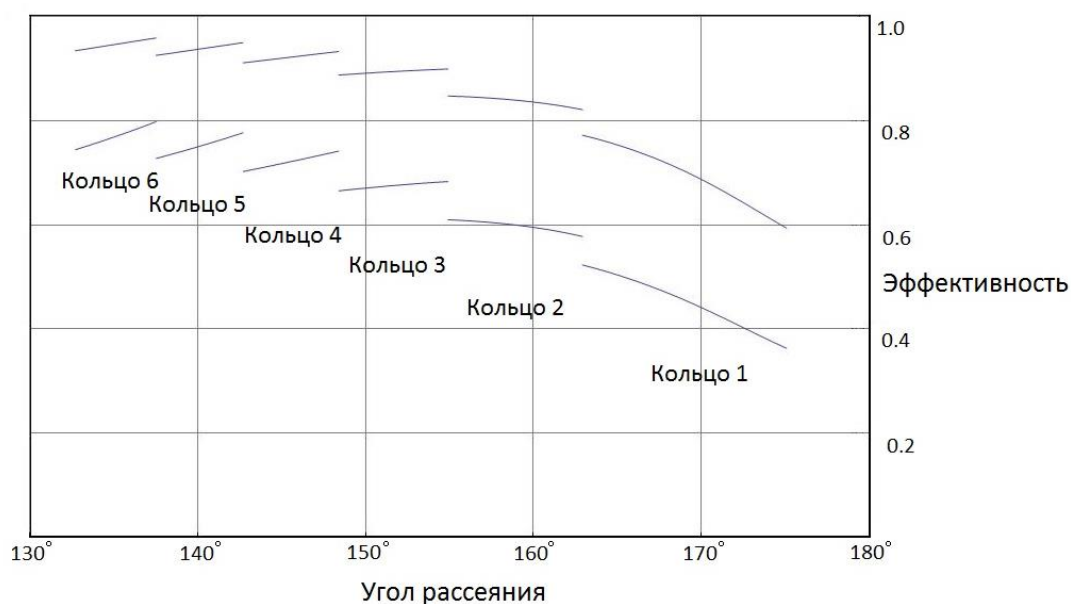


Рис.5. Зависимость эффективности детектора от угла рассеяния.

2.4. Оценка геометрического вклада в величину полного разрешения дифрактометра

Оценка геометрического вклада в величину полного разрешения была выполнена с учётом только эффективной толщины детектора и различных размеров исследуемого на дифрактометре образца $\varnothing_{обр}$ 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.

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

Таблица 2. Геометрический вклад в полное разрешение дифрактометра, где: $\varnothing_{обр}$ – размер образца; $\langle \Delta_i \rangle = 2.36\sigma_i$ – величина ошибки для i -ого кольца детектора.

2.5. 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, Grindewald, Switzerland.
4. Balagurov A.M., Balagurov D.A., Bobrikov I.A., Bogdzel A.A. et al., High-resolution neutron Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor: a new concept. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B 436 (2018), pp.263-271
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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
10. Bobrikov I.A., Balagurov A.M., Chih-Wei Hu, Chih-Hao Lee et al., Structural evolution in LiFePO₄-based battery materials: in-situ and ex-situ time-of-flight neutron diffraction study, *Journal of Power Sources* 258, 356-364 (2014)
11. 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.
12. 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.
13. Levchanovskiy F.V., Murashkevich S.M. "The Data Acquisition System for Neutron Spectrometry – a New Approach and Implementation", NEC'2013, pp.176-179.
14. Shvetsov V.V., Drozdov V.A.. "Increasing Bandwidth of Data Acquisition Systems on IBR-2 Reactor Spectrometers in FLNP". Proceedings of the XXVI International Symposium on Nuclear Electronics & Computing (NEC'2017) Becici, Budva, Montenegro, September 25 - 29, 2017, European repository of the CEUR Workshop Proceedings Vol-2023, pp. 293-298.
15. Bogdzel A., Drozdov V., Kruglov V., Murashkevich S., Prikhodko V. Shvetsov V., «The new data acquisition system MPD-32 for the high-resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor». Proceedings of the 27th International Symposium Nuclear Electronics and Computing (NEC'2019) Budva, Becici, Montenegro, September 30–

October 4, 2019, CEUR-WS Vol-2507 (ISSN 1613-0073), pp.142-146
(<https://indico.jinr.ru/event/738/contributions/6365/>).

3. Ожидаемые результаты и новые разработки

В рамках предлагаемого проекта планируется:

1. Изготовить 11 секторов детектора ДОР ФДВР.
2. Разработать и изготовить платформу для размещения секторов детектора ДОР в составе дифрактометра ФДВР.
3. Изготовить необходимое количество блоков системы сбора и накопления данных MPD32-USB3.
4. Установить и протестировать сектора детектора ДОР на штатных позициях на ФДВР по мере их изготовления.
5. Установить и отладить электронику и программное обеспечение для сбора и накопления данных с детектора ДОР на основе блоков MPD32-USB3 на дифрактометре ФДВР;
6. Сборка и наладка детектора ДОР ФДВР с системой сбора и накопления данных.

4. Конкурентоспособность

Детектор является уникальной научно-технической разработкой, его создание 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		Bicron		Договор
Япония		Hamamatsu		Договор
Россия	Дубна	НПО "Аспект"		Договор
Италия		CAEN		Договор

6. План-график работ

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления проекта
"Создание широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР"

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.). Потребности в ресурсах	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов		
			2021 год	2022 год	2023 год
Затраты	Комплекты механических деталей секторов детектора	220	80	80	60
	Электроника сбора и накопления данных	165	60	60	45
	Узлы крепления и расходные материалы	120	60	30	30
	Строительство/ремонт помещений	-----	-----	-----	-----
	Материалы	90	30	30	30
Необходимые ресурсы	Нормо-час Ресурсы – конструкторского бюро лаборатории, – опытного производства ОИЯИ, – опытного производства лаборатории, – ускорителя, – реактора, – ЭВМ. Эксплуатационные расходы	-----	-----	-----	-----
		-----	-----	-----	-----
		600	200	200	200

Источники финансирования	Бюджетные средства	595	230	200	165
	Внебюджетные средства	-----	-----	-----	-----

Руководитель проекта

В.В. Круглов

Сетевой график работ по проекту "Создание широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР"

N		2021		2022		2023	
		I	II	I	II	I	II
1	Изготовление 11 секторов детектора ДОР ФДВР.						
2	Разработка и изготовление платформы для размещения секторов детектора ДОР в составе дифрактометра ФДВР.						
3	Изготовление и настройка блоков системы сбора и накопления данных MPD32-USB3.						
4	Установка и отладка электроники и программного обеспечения для сбора и накопления данных с детектора ДОР на основе блоков MPD32-USB3 на дифрактометре ФДВР.						
5	Установка и тестирование секторов детектора ДОР на штатных позициях на дифрактометре ФДВР по мере их изготовления.						
6	Сборка и наладка детектора ДОР ФДВР с системой сбора и накопления данных.						

Смета затрат по проекту «Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР»

NN пп	Наименование статей затрат	Полная стоимость	2021 год	2022 год	2023 год
	Прямые расходы на Проект				
1.	Ускоритель, реактор	час.	120	120	120
2.	ЭВМ	час.	-----	-----	-----
3.	Компьютерная связь	тыс. долл.	-----	-----	-----
4.	Конструкторское бюро	нормо- час	-----	-----	-----
5.	Опытное производство	нормо- час	200	200	200
6.	Материалы	тыс. долл.	30	30	30
7.	Оборудование	тыс. долл.	200	170	135
8.	Строительство/ремонт помещений	тыс. долл.	-----	-----	-----
9.	Оплата НИР, выполняемых по договорам	тыс. долл.	10	10	-----
10.	Командировочные расходы, в т.ч.	тыс. долл. 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:	645	250	220	175

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА В.В. Круглов _____ «___» _____ 2020 г.

ДИРЕКТОР ЛНФ В.Н. Швецов _____ «___» _____ 2020 г.

ЭКОНОМИСТ ЛНФ Л.С. Овсянникова _____ «___» _____ 2020 г.