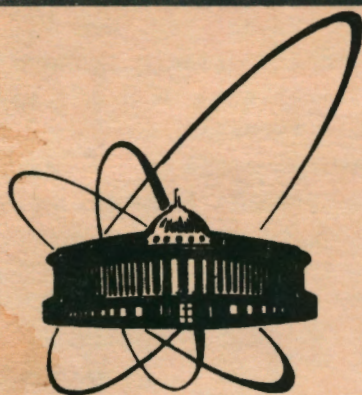


91-172



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна**

РЗ-91-172

В.Л.Аксенов, О.Антсон², А.М.Балагуров,
А.П.Булкин¹, Б.И.Воронов, В.А.Кудряшев¹,
В.Г.Муратов¹, Х.Пеюрю², Ю.А.Пинчук¹,
Е.В.Серочкин, В.Г.Симкин, А.Тиитта²,
В.А.Трунов¹, В.М.Фролушкин¹, П.Хиисмяки²,
И.Хорват²

**НЕЙТРОННЫЙ ФУРЬЕ-ДИФРАКТОМЕТР
НА РЕАКТОРЕ ИБР-2**

¹ПИАФ АН СССР им.Б.П.Константинова, Гатчина

²Центр технических исследований, Эспоо, Финляндия

1991

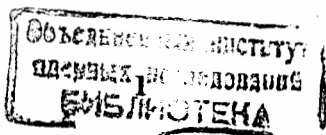
В ЛНФ ОИЯИ принят к реализации совместный с ЛИЯФ АН СССР (Гатчина) проект создания на высокопоточном импульсном реакторе ИБР-2 фурье-дифрактометра высокого разрешения (ФДВР). Проект осуществляется в рамках советско-финской программы СФИНКС (Советско-Финский-Нейтронный-Корреляционный-Спектрометр), которая включает разработку и создание нейтронных дифрактометров высокого разрешения на реакторах ПИК (Гатчина) и ИБР-2 (Дубна), и поддерживается Научным советом по проблеме ВТСП.

Оптимизация дифрактометров на реакторах ПИК и ИБР-2 по параметрам будет дополнительной по отношению друг к другу: максимальная светосила на ПИК, максимальное разрешение на ИБР-2. Особенностью установки в Дубне является то, что впервые в мировой практике фурье-дифрактометр располагается на импульсном источнике нейтронов. Как показано далее, это позволяет существенно улучшить отношение эффекта к фону и расширить доступный диапазон длин волн нейтронов.

В настоящей работе дано описание проекта. фурье-дифрактометра на ИБР-2, проведено сравнение по параметрам с лучшими действующими установками, рассмотрены новые моменты в конструкции, электронном обеспечении и анализе данных, связанные с импульсностью источника нейтронов.

1. Методическое обоснование проекта

Нейтронная фурье-дифрактометрия относится к корреляционным методам анализа упругого рассеяния нейтронов на кристаллах. Ее ближайшими аналогами являются обычный метод времени пролета на импульсном источнике нейтронов или с ферми-прерывателем на стационарном реакторе и метод псевдослучайной (статистической) модуляции пучка нейтронов. По сравнению с этими методами, фурье-дифрактометрия обеспечивает существенно большую светосилу при лучшем разрешении и по праву считается одним из перспективных методов анализа структуры поликристаллических веществ. Особенно многообещающим является применение фурье-дифрактометрии на импульсном источнике нейтронов. Далее будет



показано, что на реакторе ИБР-2 с помощью фурье-дифрактометра достижимо разрешение по $\Delta d/d$ (d -межплоскостное расстояние) $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ при светосиле, сравнимой с уровнем, достигнутым в настоящее время на лучших источниках нейтронов.

Общие принципы нейтронной фурье-дифрактометрии известны с 1968 г.^{/1/}. В последние 10 лет они получили значительное развитие и практическое воплощение в работах финских физиков^{/2/}, с помощью которых в 1984г. в ЛИЯФ АН СССР (г. Гатчина) запущен фурье-дифрактометр мини-СФИНКС^{/3/}, работающий по методу обратного анализа времени пролета нейтронов^{/4/}. Накопленный в ЛИЯФ опыт работы показал как правильность основных идей, положенных в основу прибора, так и высокое качество получаемых результатов. Примером структурных работ, выполненных на мини-СФИНКСе, являются исследования формиатов редких земель^{/5/} и высокотемпературных сверхпроводников^{/6/}.

Рассмотрим (сначала качественно) основные идеи, лежащие в основе дифракционного фурье-анализа на импульсном источнике нейтронов.

Функциональная схема установки показана на рис.1. Нейтроны от импульсного источника (замедлитель реактора ИБР-2) проходят фурье-прерыватель, попадают на образец, рассеиваются на нем и регистрируются детектором. Период повторения импульсов мощности реактора 200 мс, ширина вспышки тепловых нейтронов около 320 мкс. Фурье-прерыватель представляет собой быстро вращающийся диск диаметром ~ 50 см, по периметру которого равномерно расположены прозрачные для нейтронов щели, разделенные непрозрачными промежутками. Максимальная частота Ω_m модуляции пучка фурье-прерывателем достигает 150 кГц. Если бы на прерывателе была только одна щель (вариант ферми-чоппера), то при соответствующей синхронизации частоты вращения с импульсами мощности реактора происходило бы сокращение ширины импульса при одновременном резком уменьшении потока нейтронов. Большое число щелей фурье-прерывателя обеспечивает лишь незначительное уменьшение потока, но возникает эффект рецикличности, приводящий к перекрытию регистрируемых спектров.

Идея обратного фурье-метода^{/4/} (RTOF, REVERSE TIME-OF-FLIGHT), позволяющего расшифровывать перекрывающиеся дифракционные спектры, состоит в следующем. Хотя нельзя сказать точно, какая скорость была у зарегистрированного детектором нейтрона, можно указать, какие скорости у него могли быть, проверяя состояние прерывателя и реактора в соответствующие моменты времени тому назад. Оказывается, что варьируя частоту вращения прерывателя от нулевой до некоторой максимальной и накапливая большое число событий, отсортированных указанным способом, можно получить обычный спектр упруго рассеянных нейтронов с разверткой по времени пролета. Возможность сортировки обеспечивается формированием опорных ("PICK-UP") сигналов, совпадающих с моментами "открытого" состояния реактора и прерывателя, и управляющих работой быстрого сдвигового регистра, через который идет накопление детекторных сигналов.

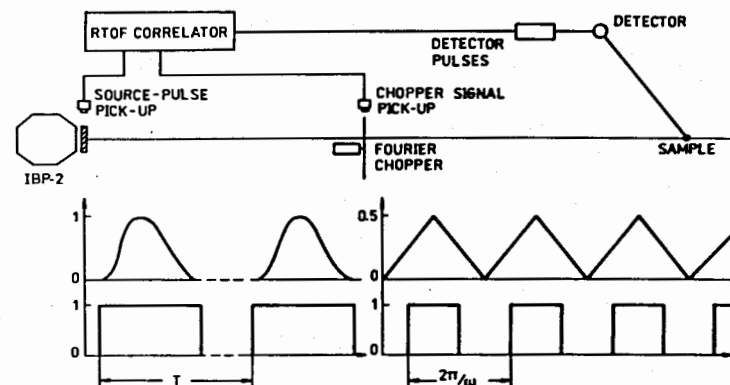


Рис.1. Функциональная схема фурье-дифрактометра на импульсном реакторе и временные диаграммы для источника (слева) и фурье-прерывателя (справа) вместе с соответствующими бинарными последовательностями сигналов. Нейтроны из активной зоны реактора ИБР-2 проходят фурье-прерыватель, рассеиваются на образце и регистрируются детектором. На схему корреляционного анализа (RTOF-коррелятор) поступают синхронизирующие сигналы от источника (с периодом T), прерывателя (с периодом, зависящим от частоты вращения ω) и детекторные импульсы.

Отличие такого режима работы от ситуации без фурье-прерывателя состоит в следующем:

- зарегистрированный спектр имеет в четыре раза меньшую интенсивность (пропускание прерывателя составляет ~0.25),
- ширина дифракционных пиков примерно равна обратной величине максимальной частоты модуляции пучка, т.е. ~7 мкс,
- возникает эффект коррелированности дисперсий соседних точек спектра (подробнее ниже).

Необходимо подчеркнуть, что только фурье-метод обеспечивает столь радикальное улучшение разрешения (в ~40 раз) при незначительной потере в светосиле. Действительно, если бы улучшения разрешения добиваться за счет увеличения пролетного расстояния источник - образец, то светосила упала бы пропорционально квадрату расстояния, т.е. более чем в 10^2 раз.

Математическое обоснование работоспособности метода дано в нескольких публикациях^{/2, 7, 8/}. Здесь мы только кратко сформулируем основные выводы, сравнивая ситуации, возникающие в случаях обычного ТОФ-дифрактометра и фурье-дифрактометра на стационарном и на импульсном источниках нейтронов.

В общем случае зависимость от времени регистрируемой детектором интенсивности упруго рассеянных на образце нейтронов (одномерный времяпролетный спектр) можно записать в виде двух слагаемых:

$$I(t) \sim \int R(\xi-t) \cdot \sigma(\xi) d\xi + B(t), \quad (1)$$

где σ - сечение рассеяния (для поликристалла - это сумма δ -образных распределений, отвечающих брэгговским дифракционным пикам), R - функция разрешения установки, B - фоновая интенсивность. Во всех трех предполагаемых к рассмотрению случаях $R(t)$ является сверткой некоторого набора распределений, которые учитывают уширение дифракционного пика; связанное как с временными, так и геометрическими (угловыми) неопределенностями процесса рассеяния. Однако для наглядности сравнения будем пока предполагать, что геометрический вклад мал, и рассмотрим только временную часть функции разрешения.

Для ТОФ-дифрактометра на импульсном источнике $R(t)=R_T(t)$ является сверткой функции, описывающей импульс быстрых нейтронов, с функцией отклика замедлителя и для ИБР-2 представляет собой близкое к гауссиану слегка асимметричное распределение с шириной на половине высоты 320 мкс. Для когерентно рассеивающих образцов фоном можно пренебречь, и, таким образом, форма дифракционного пика будет

$$I(t) \sim R_T(t) \sim \exp(-t^2/2D), \quad (2)$$

где D - дисперсия ($D^{1/2} \approx 136$ мкс). Статистическая ошибка счета во временном канале полностью определяется величиной $I(t)$ и равна $I^{1/2}$.

Для фурье-дифрактометра на стационарном реакторе в первом приближении^{/2/}

$$R(t)=R_C(t) \sim \int_0^{\Omega_m} g(\omega) \cos(\omega t) d\omega, \quad (3)$$

где $g(\omega)$ - функция распределения частот, а Ω_m - максимальная частота вращения фурье-прерывателя. Очевидно, что ширина $R_C(t)$ в основном определяется значением Ω_m и для частотного распределения по Блэкману, которое используется на дифрактометре "мини-СФИНКС"

$$g(u) = 1+p \cdot \cos(\pi u) + q \cdot \sin(\pi u), \quad (4)$$

где $u=\omega/\Omega_m$, $p=1.03$, $q=0.08$, и при $\Omega_m=150$ кгц она составит ~7 мкс, т.е. ширина дифракционных пиков будет в ~46 раз меньше, чем в первом случае.

Усложняющим ситуацию эффектом применения фурье-прерывателя является появление так называемого корреляционного фона, а именно $B(t) \approx S_{tot}$, где S_{tot} - полная зарегистрированная детектором интенсивность. В результате статистическая ошибка счета во временном канале практически не зависит от t и составляет $S_{tot}^{1/2}$.

Ситуация для фурье-дифрактометра на импульсном реакторе является комбинацией двух рассмотренных случаев. Для $I(t)$ можно написать:

$$I(t) \sim \int R_T(\xi-t) \cdot R_C(\xi-t) \cdot \sigma(\xi) d\xi + \int R_T(\xi-t) \cdot \sigma(\xi) d\xi, \quad (5)$$

где первое слагаемое определяет форму узких ($w \approx 7$ мкс) дифракционных пиков, а второе является корреляционным фоном, имеющим форму широких максимумов ($w \approx 320$ мкс). Как показано в [7], второе слагаемое в (5) может быть устранено из регистрируемого спектра, если в процессе накопления данных периодически менять направление вращения прерывателя. Корреляционный разброс точек при этом остается, однако он, в отличие от случая на стационарном реакторе, определяется лишь суммой отсчетов в пределах ширины импульса источника, т.е. 320 мкс.

Для сравнения ситуации с корреляционным фоном в случаях стационарного и импульсного источников можно воспользоваться следующим полукачественным рассуждением. При максвелловской форме спектра нейтронов от реактора и отсутствии какой-либо дополнительной фильтрации на стационарном реакторе корреляционный фон

$$V_{\text{ср}} = \text{const} \cdot S_{\text{tot}} \int_0^{\infty} \Phi(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} 2\Phi_0 \frac{\lambda^4}{\lambda^5} \exp(-\lambda_0^2/\lambda^2) d\lambda = \Phi_0, \quad (6)$$

где Φ_0 - полный поток нейтронов, $\lambda_0 = 1.8$ А - характерная длина волны. Корреляционный фон на импульсном реакторе

$$V_{\text{ир}} = V(\lambda) \sim \int_{\Delta\lambda} \Phi(\lambda) d\lambda = 2\Phi_0 \frac{\lambda^5}{\lambda^5} \exp(-\lambda_0^2/\lambda^2) \cdot (\Delta\lambda/\lambda), \quad (7)$$

где интервал интегрирования $\Delta\lambda$ определяется шириной функции разрешения $R_T(t)$ и составляет около $0.02 \cdot \lambda_0$. При прочих равных условиях величина

$$G = (V_{\text{ср}}/V_{\text{ир}})^{1/2} = \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^5 \cdot \exp(\lambda_0^2/\lambda^2) \right)^{1/2} \quad (8)$$

определяет выигрыш в статистической ошибке вследствие импульсности источника нейтронов, особенно значительный при $\lambda \geq 2$ А (рис.2). Следствием этого факта является возможность существенного расширения диапазона длин волн в сторону больших λ на фурье-дифрактометре на ИБР-2.

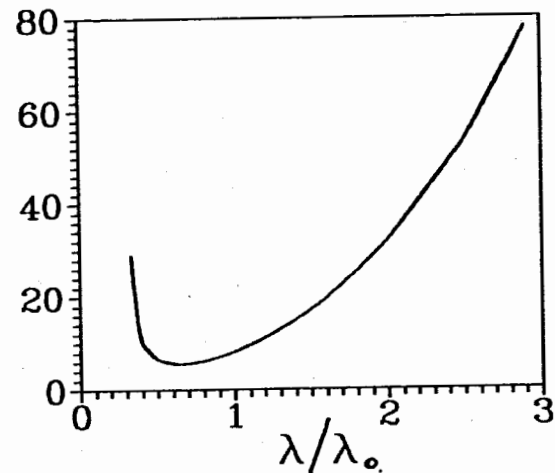


Рис.2. Отношение величины корреляционного фона на стационарном источнике к фону на импульсном источнике при максвелловской форме исходного спектра.

2. Описание установки

Схема установки ФДВР показана на рис.3. Дифрактометр располагается на одном из каналов реактора ИБР-2 [9]. В кольцевом

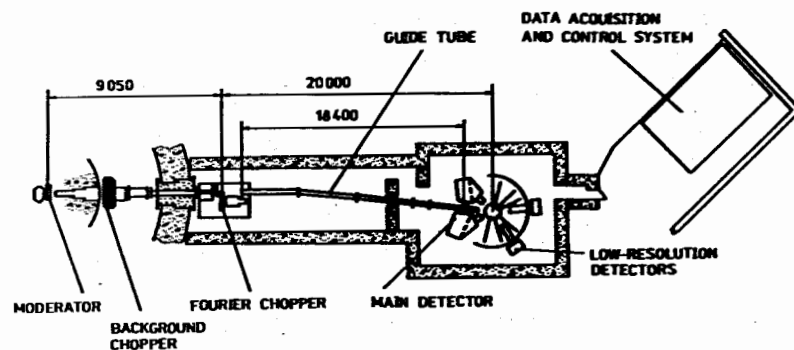


Рис.3. Конфигурация фурье-дифрактометра на реакторе ИБР-2. Надписями выделены: замедлитель, расположенный рядом с активной зоной реактора, механический фильтр фоновых нейтронов, фурье-прерыватель, зеркальный нейтронотвод, основной детектор, дополнительные детекторы низкого разрешения и помещение для электронного модуля дифрактометра. Расстояния даны в мм.

коридоре зала реактора находятся механический фильтр и первый вспомогательный нейтронный канал, являющийся коробом из нержавеющей стали в виде усеченной пирамиды с входным окном $102 \times 202 \text{ мм}^2$ и выходным окном $32 \times 202 \text{ мм}^2$. Механический фильтр предназначен для подавления фона тепловых нейтронов между основными всплесками реактора - запаздывающих и нейтронов от сателлитных всплесков, идущих с частотой 25 Гц (рис. 4). Через стену кольцевого коридора пучок нейтронов проводится с помощью зеркального нейтронного канала, вставленного в герметичный кожух. Непосредственно за стеной биологической защиты реактора располагается узел прерывателей. Он включает

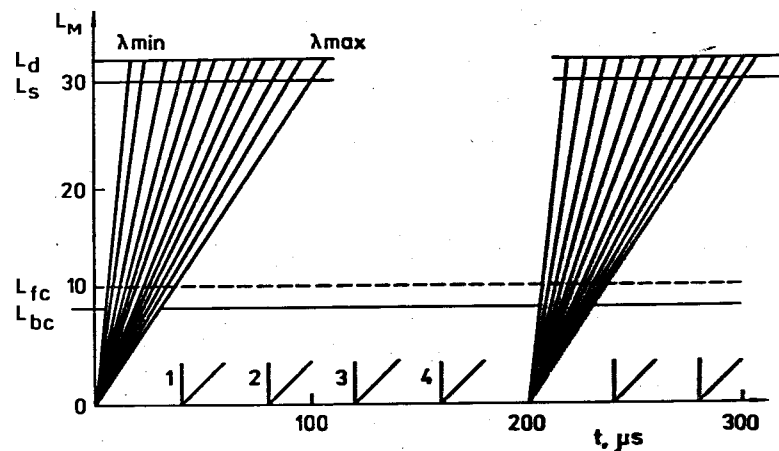


Рис. 4. Временная диаграмма прохождения нейтронов от источника до детектора. Основные импульсы мощности идут через 200 мкс, между ними - четыре сателлитных импульса. По вертикальной оси отложены расстояния до механического фильтра (L_{bc}), фурье-прерывателя (L_{fc}), образца (L_s) и детектора (L_d).

фурье-прерыватель и дополнительный механический фильтр. Фурье-прерыватель состоит из двух дисков (статора и ротора) диаметром 540 мм и электрического привода. Ротор вращается с переменной скоростью от 1 до 9000 об/мин. Цикл разгона и сброса скорости может занимать от 15 мин до нескольких часов. На статоре и роторе имеются прозрачные и непрозрачные для нейтронов промежутки, ширина которых составляет около 0.6 мм. Число промежутков обоих типов - 1024. Таким образом, при скорости вращения 9000 об/мин частота модуляции пучка нейтронов составляет 150 кГц, что и определяет малую ширину функции разрешения. Фокусирующий зеркальный нейтронный канал формирует пучок нейтронов на образце и одновременно выполняет функции фильтра быстрых нейтронов и γ -лучей. Он имеет входное и выходное сечения $30 \times 200 \text{ мм}^2$ и $10 \times 100 \text{ мм}^2$, соответственно, длину 18 м и радиус кривизны около 2 км. Перед образцом ставится соллеровский коллиматор, уменьшающий расходимость пучка. Два детектора на малых углах рассеяния располагаются на поворотных платформах. Основными являются детекторы на больших (156°) углах рассеяния. Они располагаются симметрично с обеих сторон пучка и представляют собой сборку из ^6Li -стекло - 48 штук площадью $100 \times 100 \text{ мм}^2$ и 16 штук площадью $100 \times 150 \text{ мм}^2$, которые наклеиваются на световоды, образующие поверхность, удовлетворяющую условию временной фокусировки. Полный телесный угол Ω_d обоих основных детекторов составит около 0.16 ср. Подробное описание детекторной системы дифрактометра и ее влияния на разрешающую способность дано в работе^{/10/}. Пролетная база между фурье-прерывателем и образцом составит 20 м.

Для управления экспериментом, накопления и первичной обработки данных предполагается использовать двухмашинный комплекс, состоящий из РС/АТ и PS-2. Для окончательной обработки данных по методу Ритвельда необходимо привлечение ЭВМ типа VAX, т.к. высокое разрешение и большой рабочий диапазон длин волн приведут к большому ($\sim 32 \text{ К}$) числу одновременно рассматриваемых каналов. Формирование электронного модуля дифрактометра будет проведено в современном стандарте типа VITBUS или MULTIBUS-2.

3. Ожидаемые параметры ФДВР

Качество дифрактометра для исследований поликристаллов определяют несколько параметров:

- доступный диапазон длин волн и межплоскостных расстояний,
- поток нейтронов на образце,
- относительная и абсолютная разрешающая способность,
- светосила, определяемая произведением потока на возможный объем образца и на телесный угол детекторной системы.

3.1. Диапазон λ и d_{hkl}

Ограничение снизу по длине волны (λ_{\min}) связано с контрастностью прозрачных и непрозрачных промежутков дисков Фурье-прерывателя, а верхняя граница определяется влиянием конечной толщины прерывателя. Расчет и опыт эксплуатации дифрактометра "мини-СФИНКС" показывают, что $\lambda_{\min}=1$ А, $\lambda_{\max}=12$ А. При этом анализ спектров основным детектором ($2\theta_0=156^\circ$) будет вестись в диапазоне $d=0.5-6$ А. В области больших d высокого разрешения уже не требуется, поэтому интервал с $d \geq 4$ А (вплоть до 60 А) будет анализироваться в обычном режиме детекторами, расположенными на малых и средних углах рассеяния.

3.2. Поток нейтронов на образце

Поток тепловых нейтронов с поверхности гребенчатого замедлителя в 2π стерадиан на ИБР-2 составляет $\sim 8 \cdot 10^{12}$ н/см²/с. С учетом площади замедлителя (~ 400 см²) и расстояния от замедлителя до образца (~ 30 м) поток на образце мог бы быть $6 \cdot 10^7$ н/см²/с. С учетом пропускания Фурье-прерывателя и потерь в нейтроноводе поток на образце составит около $1 \cdot 10^7$ н/см²/с.

3.3. Разрешающая способность

Разрешение дифрактометра по времени пролета в основном определяется двумя слагаемыми

$$R = \Delta d/d = [(\Delta t/t)^2 + (\gamma \cdot \text{ctg} \theta_0)^2]^{1/2}, \quad (9)$$

где $\Delta t/t$ - относительная ширина нейтронного импульса по времени, θ_0 - средний угол Брэгга, при котором расположен детектор, γ - учитывает геометрические неопределенности в процессе рассеяния. Для Фурье-дифрактометра Δt почти точно равно Ω_m^{-1} -

обратной величине максимальной частоты модуляции нейтронного пучка. Предполагается, что прерыватель обеспечит $\Omega_m=150$ кГц (1024 щели с шириной 0.6 мм, max скорость вращения 9000 об/м), т.е. $\Delta t=7$ мкс. При пролетном расстоянии замедлитель-детектор 22 м: $\Delta t/t = \Delta t/(253 \cdot L \cdot 2d \cdot \sin \theta) = 6.6 \cdot 10^{-4}/d$, где d в А.

Детекторная система Фурье-дифрактометра удовлетворяет условию временной фокусировки и ее вклад в разрешение вместе с вкладом от угловой расходимости первичного пучка и конечным размером образца примерно равен первому слагаемому в (9). Расчет показывает, что для этого образец прямоугольной формы не должен иметь размеры больше чем 0.5x1.0 см в сечении и 4 см по высоте. В этом случае разрешение составит около $5 \cdot 10^{-4}$ для $d=2$ А.

3.4. Светосила

В работе^{/11/} было предложено светосилу порошковых дифрактометров оценивать параметром $J = \Phi_0 \cdot V_s \cdot \Omega_d$, где Φ_0 - поток нейтронов на образце, V_s - возможный объем образца, Ω_d - телесный угол детектора. Практика работы мини-СФИНКСа показала, что для сравнения по этому параметру обычного и Фурье-дифрактометров необходимо вводить поправочный коэффициент $k_{cor}^{s1} \approx 0.01$, учитывающий корреляционную природу измерений во втором случае. Для Фурье-дифрактометра на импульсном источнике этот коэффициент может составлять в среднем по спектру $k_{cor}^{i mp} \approx 0.1$. При потоке на образце $\Phi_0=10^7$ н/см²/с, объеме образца $V_s=2$ см³, телесном угле детектора $\Omega_d=0.16$ ср параметр J для ФДВР (с учетом $k_{cor}^{i mp}$) составит $\sim 3 \cdot 10^5$. Эта величина сравнима с соответствующей характеристикой лучших в настоящее время дифрактометров D2B в ILL и HRPD в RAL.

Сравнение D2B, HRPD, мини-СФИНКСа и ФДВР по основным параметрам проведено в таблице 1.

4. Физические задачи для ФДВР

С появлением в начале 80-х годов нейтронных дифрактометров высокого разрешения стало возможным многие задачи структурного анализа кристаллов выполнять, используя поликристал-

Таблица 1. Сравнение дифрактометров высокого разрешения по основным параметрам.

Величина R для D2B дана в min кривой разрешения, для остальных дифрактометров - при $d=2$ А. Светосила для м-СФИНКСа дана с учетом $k_{cor}=0.01$, для ФДВР - $k_{cor}=0.1$.

	D2B ILL	HRPD RAL	м-СФИНКС ЛИАФ	ФДВР ОИЯИ
λ	1.4-5.7	0.8-12	0.8-4	0.8-12
Φ_0	10^7	10^6	$1.2 \cdot 10^7$	10^7
V_s	5	2	4.5	2
Ω_d	0.008	0.1	0.09	0.16
R	0.0005	0.0005	0.0020	0.0005
$\Phi_0 \cdot V_s \cdot \Omega_d$	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$3.5 \cdot 10^5$

λ , А - диапазон длин волн нейтронов,
 Φ_0 , н/см²/с - полный поток на образце,
 V_s , см³ - стандартный объем образца,
 Ω_d , ср - телесный угол детектора,
 $R=\Delta d/d$ - относительная разрешающая способность,
 $\Phi_0 \cdot V_s \cdot \Omega_d$ - светосила дифрактометра.

лические образцы. Уже на дифрактометрах с $\Delta d/d = 3 \cdot 10^{-3}$ легко изучаются структуры с числом независимых атомов ~ 10 (число свободных параметров 30-50). Создание нейтронных дифрактометров сверхвысокого разрешения ($\Delta d/d = 5 \cdot 10^{-4}$) позволило сделать еще один существенный шаг в этом направлении. Например, на D2B расшифрована структура поликристалла $Ca_8Al_{12}O_{24}(WO_4)_2$, для чего был измерен дифракционный спектр, состоящий из 6100 точек и содержащий 1668 пиков. В процедуре уточнения данных варьировались 132 параметра. Высокий уровень разрешения позволяет уточнять не только позиционные и изотропные тепловые параметры, но и включать в анализ факторы заселенности кристаллографических позиций и анизотропные тепловые факторы.

Хорошим примером применения нейтронных дифрактометров высокого разрешения является изучение структуры высокотемпературных сверхпроводников. Именно на этих приборах была получена основная структурная информация о ВТСП^{12,13,5/}.

Помимо чисто структурных исследований, нейтронный дифрактометр высокого разрешения позволяет решать множество специфических задач. Например, в RAL на дифрактометре с $\Delta d/d=5 \cdot 10^{-4}$ были измерены акустические фононные и магнронные ветви колебаний в BaF_2 , CaF_2 , Fe_3Al и $Ni^{14/}$. Эффективным является применение дифрактометров высокого разрешения для анализа реальной структуры кристаллов: определения размера зерен и напряжений в них, изучения доменных структур и т.д.

Таблица 2. Основные характеристики фурье-дифрактометра

Пучок	зеркальный нейтроновод, покрытый ⁵⁸ Ni
Размер пучка на образце	10 мм x 100 мм
Расстояние замедлитель-образец	30 м
прерыватель-образец	2000 см
Фурье-прерыватель (диск)	Ti-Zr-сплав
диаметр	540 мм
ширина щели	0.6 мм, переменная
число щелей	1024
max скорость вращения	9000 об/м
max частота модуляции пучка	150 кГц
Ширина импульса тепловых нейтронов	
обычный режим	320 мкс
фурье режим	7 мкс
Детектор высокого разрешения	⁶ Li, сфокусированный
низкого разрешения	³ He, позиционный
Апертура детектора высокого разрешения	0.16 ср
низкого разрешения	≤ 0.006 ср
Угол рассеяния детектора высокого разрешения	156°
низкого разрешения	0 - 120°
Интервал по длине волны	0.8 - 12 А
по d, высокое разрешение	0.5 - 6 А
низкое разрешение	4 - 60 А
Поток нейтронов на образце	10^7 н/см ² /с
Объем образца	~ 2 см ³
Разрешение по $\Delta d/d$ при $2\theta=156^\circ$, $d=2$ А	0.0005

5. Заключение

В таблице 2 перечислены все основные характеристики ФДВР. Проведение экспериментов на дифрактометре в регулярном режиме планируется начать в 1992 г.

В принципе, помимо геометрии рассеяния установка с фурье-прерывателем на импульсном источнике позволяет работать в геометрии пропускания^{15/}, в которой возможно значительное техническое и методическое продвижение вперед, в частности, разрешение может быть доведено до $2.5 \cdot 10^{-4}$, т.е. значения, пока доступного только на источниках синхротронного излучения. Решение о развитии методики пропускания в фурье-режиме будет принято после проведения дополнительных тестовых экспериментов.

Литература

1. Colwel J.F., Miller P.H., Whittemore W.L. Neutron Inelastic Scattering, p.63, IAEA, Vienna, 1968
2. Hiismaki P., Poyry H., Virjo A., Acta Polytech. Scand. 1973, Ph96.
Poyry H. et al, Nucl.Instr.Methods, 1975, 126, p.421
3. Hiismaki P. et al, Neutron Scatt. in The Nineties, Conf. Proc., p.17, Vienna, IAEA, 1985
Трунов и др., Сообщения ЛИЯФ, N 1277, Ленинград, 1987
4. Hiismaki P., Neutron Inelastic Scattering, Symp. proc. Vienna, IAEA, 1972, p.803
5. Trunov V.A. et al, Sol.St.Comm., 1986, 59, p.95
6. Antson O. et al, Sol.St.Comm., 1987, 64, p.757
7. Hiismaki P. et al, J.Appl.Cryst., 1988, 21, p.349
8. Poyry H. et al, Nucl.Instr. and Methods, 1978, 156, p.499
9. Ананьев В.Д. и др. Атомная энергия, 1984, 57, с.227
10. Кудряшев В.А. и др. Препринт ЛИЯФ, N1562, Ленинград, 1989
11. Jorgensen J.D. et al, Shelter Island Workshop, 1984, p.45
12. Capponi J.J. et al, Europhys. Letters, 1987, 3, p.301
13. David W.I.F. et al, Nature, 1987, 327, p.310
14. Schofield P., Willis B.T.M., Acta Cryst, 1987, A43, p.803
15. Hiismaki P., J.Appl.Cryst., 1989, 22, p.79

Рукопись поступила в издательский отдел

18 апреля 1991 года.

Аксенов В.Л. и др.
Нейтронный фурье-дифрактометр
на реакторе ИБР-2

P3-91-172

Дано описание проекта нейтронного фурье-дифрактометра высокого разрешения /ФДВР/, принятого к реализации на реакторе ИБР-2. Приведено методическое обоснование фурье-дифрактометрии на импульсном источнике нейтронов. Ожидаемые параметры ФДВР рассмотрены в сравнении с параметрами лучших действующих установок. Очерчен круг физических задач, которые могут эффективно решаться на дифрактометре.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Aksenov V.L. et al.
Neutron Fourier Diffractometer
at the IBR-2 Reactor

P3-91-172

The project of neutron high resolution Fourier diffractometer /HRFD/ at the IBR-2 reactor is described. A comprehensive analysis of the diffractometer operation at pulsed source is given. The expected parameters of HRFD are considered together with parameters of the best present day facilities. The general outline of the physical problems suitable for HRFD are also given.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991