



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P10-94-91

Д.А.Балагуров, А.А.Богдзель, Г.Ф.Жиронкин,
В.В.Журавлев, В.Г.Муратов¹, В.Е.Новожилов,
А.И.Островной, В.Е.Резаев, В.В.Сиколенко,
А.П.Сиротин, А.Тиитта², А.С.Трофимова¹, А.Б.Тулаев

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА ФУРЬЕ-ДИФРАКТОМЕТРЕ
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

¹ПИАФ им. Б.П.Константинова РАН, Гатчина

²Центр технических исследований, Эспоо, Финляндия

**Система автоматизации экспериментов
на фурье-дифрактометре высокого разрешения**

Описана организация и функционирование системы управления и накопления данных на фурье-дифрактометре высокого разрешения. Представлены характеристики используемых детекторов, описана аппаратура для накопления спектров высокого и низкого разрешения, перечислены функциональные возможности управляемого от компьютера оборудования дифрактометра (печь, рефрижератор, гониометр, передвижные платформы). Дано описание управляющей системой и процессом проведения эксперимента программного обеспечения, а также специально разработанных программ для графического представления, предварительной обработки и анализа данных.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Balagurov D.A. et al.

P10-94-91

**The System for Experiments Automation
on High Resolution Fourier-Diffractometer**

The organization and functioning of the data acquisition and control system for the High Resolution Fourier Diffractometer are described. Characteristics of the detectors which are used, electronics for the high and low resolution spectra accumulation, functional possibilities of the controlled by the computer equipment of the diffractometer (furnace, refrigerator, goniometer, moveable platforms) are presented. The description of the control software for the system and experiment performance as well as the description of the special software for the data visualization, preliminary processing and analysis are done.

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

В 1992 году на импульсном реакторе ИБР-2 совместными усилиями специалистов ОИЯИ (Дубна), ПИЯФ РАН (Гатчина) и Центра технических исследований Финляндии (Эспоо) введен в эксплуатацию нейтронный фурье-дифрактометр высокого разрешения (ФДВР), предназначенный для исследований структуры поликристаллических веществ методом дифракции нейтронов [1,2]. Использование метода фурье-дифрактометрии на импульсном источнике нейтронов обеспечивает высокую разрешающую способность дифрактометра в сочетании с большой светосилой и хорошим отношением эффекта к фону.

За прошедшее время определены основные характеристики дифрактометра, проведены рабочие измерения, а также работы по адаптации системы автоматизации экспериментов к потребностям запланированной научно-исследовательской программы. В частности, помимо регистрации данных в основном режиме высокого разрешения, программное обеспечение и дополнительная экспериментальная аппаратура позволяют:

- проводить на этом дифрактометре параллельные измерения в режиме низкого разрешения, используя систему точечных детекторов и позиционно-чувствительный детектор (ПЧД);
- изменять положение поворотных платформ с установленными на них детекторами;
- управлять трехосным гониометром, который позволяет устанавливать на него образцы в криостате или печи;
- управлять положением статора фурье-прерывателя в процессе настройки фазы pick-up сигнала;
- проводить исследования в области низких температур (от 8 К до комнатной) с использованием рефрижератора замкнутого типа;
- проводить эксперименты при высоких температурах (от комнатной до 1000°С).

Таким образом, электронная система фурье-дифрактометра представляет собой сложный комплекс управляемых устройств. В настоящей работе дано описание аппаратуры, программного обеспечения и процедуры проведения измерений на дифрактометре. Сначала представлена общая организация и изложены основные принципы работы системы автоматизации, а затем даны описания узлов с ориентацией на потенциальных пользователей ФДВР.

1. Общая организация системы

Фурье-дифрактометр высокого разрешения расположен на пятом канале реактора ИБР-2. На схеме дифрактометра (рис.1) представлено расположение его основных узлов. В кольцевом коридоре реактора установлен механический прерыватель, подавляющий фон быстрых нейтронов. Непосредственно за стеной биологической защиты находится фурье-прерыватель (ФП), который в соответствии с методикой измерений на этом дифрактометре модулирует пучок нейтронов по интенсивности во время измерений. Пучок нейтронов, падающих на образец, формируется изогнутым зеркальным нейтронородом длиной около 19 м. Входное сечение нейтронорода составляет 30x200 мм², а

выходное - 10x100 мм². Радиус кривизны нейтронорода (около двух километров) выбран таким образом, чтобы его длина прямой видимости была несколько меньше полной длины. Полное пролетное расстояние от источника нейтронов до детектора складывается из трех частей: замедлитель - ФП ($L_1=8.481$ м), ФП - образец ($L_2=20.000$ м), образец - детектор ($L_3=0.5\pm 1.2$ м).

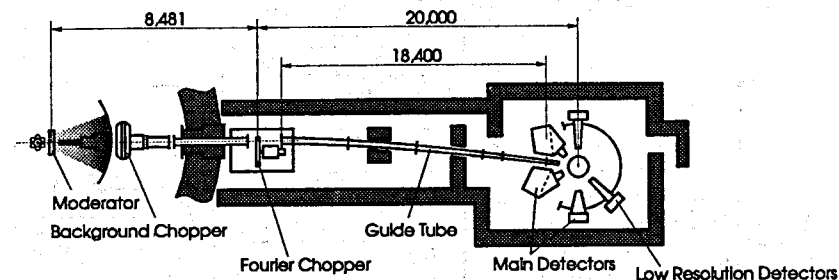


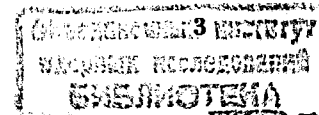
Рис.1. Схема размещения оборудования ФДВР.

Рассеянные на образце нейтроны регистрируются детекторами разного типа. Для регистрации спектров высокого разрешения используется сцинтилляционный детектор на литиевых стеклах при среднем угле рассеяния 152° к направлению падающего на образец пучка нейтронов. Спектры низкого разрешения регистрируются системой из нескольких "точечных" детекторов (нейтронных гелиевых счетчиков), расположенных под различными углами, и однокоординатным гелиевым позиционно-чувствительным детектором.

Общая организация системы автоматизации экспериментов дифрактометра представлена на рис.2. Аппаратура системы накопления с фурье-прерывателем подключена к компьютеру А. Система включает три RTOF-анализатора в стандарте VITBUS [3]. Один из них работает в режиме измерения автокорреляционной функции, а два других служат для накопления дифракционных спектров, соответствующих двум различным положениям фурье-прерывателя относительно пучка нейтронов - открытому и закрытому. RTOF-анализатор, накапливающий автокорреляционную функцию, имеет 1024 канала. Два других RTOF-анализатора - по 8196 каналов.

Аппаратура для накопления спектров низкого разрешения [4] выполнена в стандарте КАМАК и располагается в трех крейтах, один из которых подключен к управляющему компьютеру В. Необходимые связи между электронными блоками обеспечиваются по магистрали КАМАК и с помощью внешних кабелей. Установленная аппаратура обеспечивает одновременную и независимую работу двух каналов накопления от разных детекторов. Первый канал обеспечивает работу с точечными детекторами, второй - с позиционно-чувствительным детектором.

С помощью микропроцессорных блоков в стандарте КАМАК осуществляется управление двумя поворотными платформами, на которых



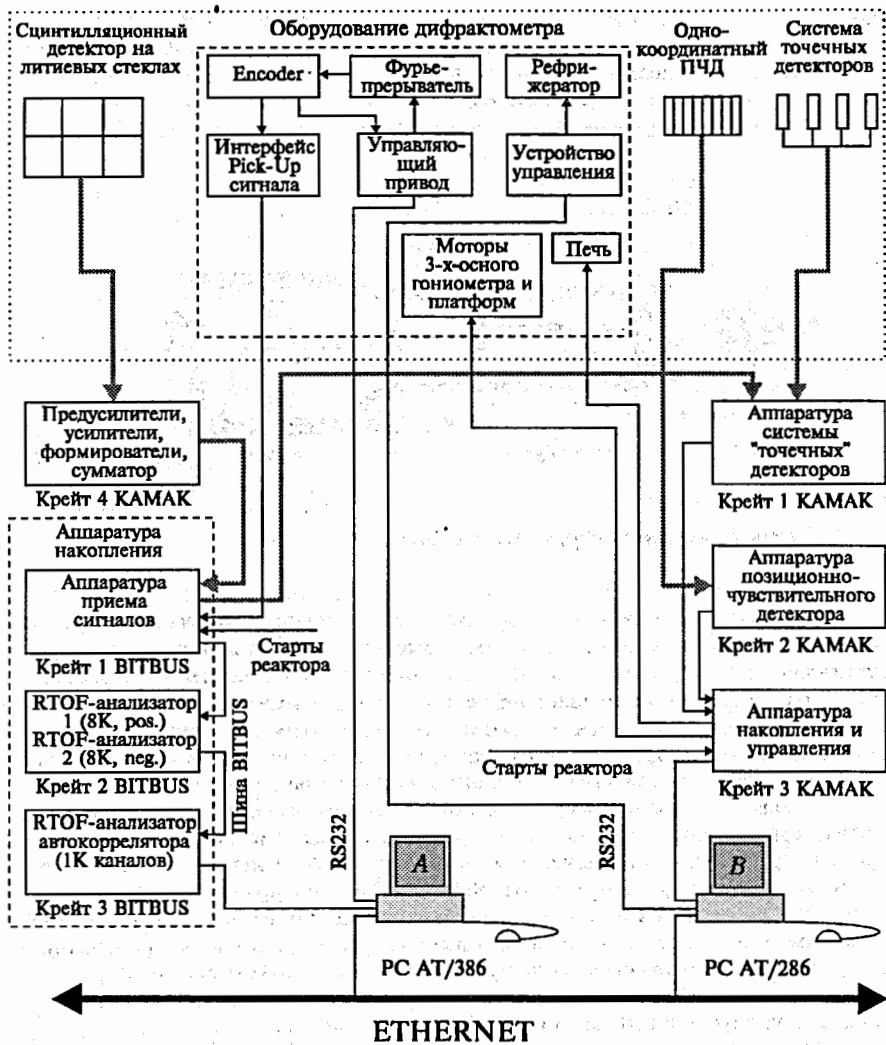


Рис.2. Организация системы автоматизации экспериментов на ФДВР.

установлены ПЧД и точечные детекторы, трехосным гониометром и положением статора фурье-прерывателя, а также управление и поддержание температуры образца в печи во время проведения экспериментов при высоких температурах образца. Для проведения экспериментов при низких температурах используется рефрижератор, управление которым осуществляется через последовательный интерфейс RS232. Управление подсистемами дифрактометра возможно в интерактивном или автоматическом режимах.

Далее дано описание аппаратуры, подключенной к компьютерам А и В, и соответствующее программное обеспечение.

2. Система для накопления спектров высокого разрешения

Система накопления спектров высокого разрешения включает сцинтилляционный литиевый детектор и соответствующую детекторную аппаратуру, три RTOF-анализатора и фурье-прерыватель с устройством управления. Управление этой аппаратурой осуществляется компьютером А (см. рис.2).

Литиевый детектор состоит из шести элементов на базе фотоумножителей типа BURLE C83006F, в оптическом контакте с которыми находятся светопроводящие призмы сложной формы, имеющие 4 или 6 граней, на которые наклеены сцинтилляторы типа NE 912 (литиевые стекла) размером 102x102x1мм. Стекла образуют поверхность, удовлетворяющую условиям временной фокусировки нейтронов на пути от образца к детектору. Более подробно конструкция детектора изложена в [5]. Использование призм-световодов объясняется необходимостью обеспечить требуемую мозаичность детектора для точного прилегания к фокусирующей поверхности и получения необходимой эффективности[5]. Это в свою очередь приводит к уменьшению световых выходов в 3-5 раз и соответственно к сжатию в сторону шумов амплитудного спектра, регистрируемого детекторным элементом. Типичный амплитудный спектр одного детекторного элемента при использовании предусилителя Photomultiplier Base ORTEC MODEL 276 и регистрации медленных нейтронов приведен на рис.3.

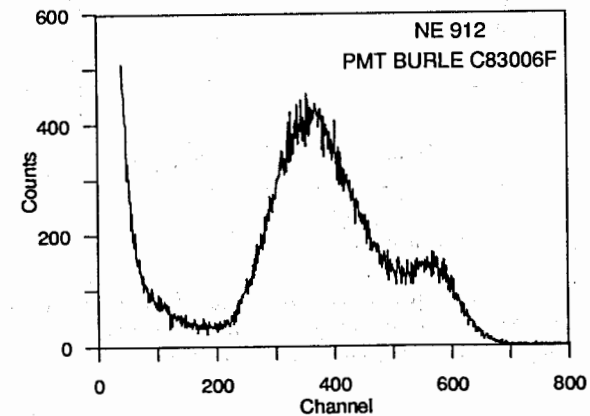


Рис.3. Типичный амплитудный спектр от одного элемента сцинтилляционного литиевого детектора.

Электроника литиевого детектора выполнена в конструктиве КАМАК. Анодный сигнал с каждого ФЭУ подается на быстрый усилитель и далее на формирователь. Образующиеся логические сигналы длительностью 200 нс собираются в логическом сумматоре и общий сигнал в стандарте NIM передается по коаксиальному кабелю длиной 20 м к стойке RTOF-анализатора, где гальванически развязывается и преобразуется в сигнал TTL. Один блок усилителей содержит 8 каналов, а один блок формирователей - 6 каналов. На вход аппаратуры RTOF-анализаторов подаются также по коаксиальному кабелю сигналы "СТАРТ реактора" и по оптическому кабелю - сигнал модуляции нейтронного пучка (pick-up сигнал).

Аппаратура трех RTOF-анализаторов реализована в стандарте VITBUS и располагается в трех крейтах. Один RTOF-анализатор предназначен для регистрации и накопления автокорреляционной функции (1024 канала) и два RTOF-анализатора (по 8196 каналов каждый) - для накопления положительной и отрицательной составляющих фурье-спектра. Спектр высокого разрешения является результатом вычитания двух составляющих фурье-спектра (см. рис.4).

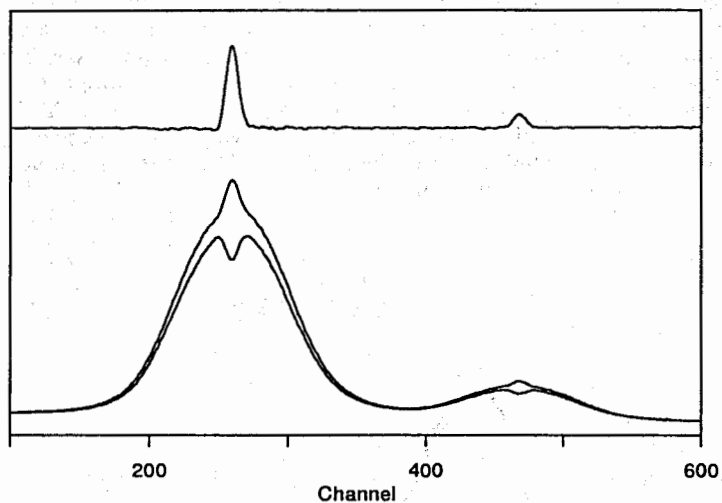


Рис.4. Спектр от образца Si, полученный с помощью RTOF-анализаторов на ФДВР (вверху - спектр высокого разрешения, а внизу - положительная и отрицательная составляющие спектра низкого разрешения).

RTOF-анализатор является анализатором параллельного типа и предназначен для работы как на стационарном, так и на импульсном источниках нейтронов. Каждый анализатор состоит из управляющего модуля

"Мастера" и подчиненных модулей "RTOF-корреляторов". Один модуль коррелятора обеспечивает регистрацию и накопление 1024 каналов временного спектра, он построен на основе сдвиговых регистров с применением специальных микросхем. Подробно аппаратура RTOF-анализатора и принципы ее работы описаны в работах [3,6,7].

Фурье-прерыватель состоит из диска ротора диаметром 540 мм, закрепленного на оси двигателя, и пластины статора, установленной на платформе фурье-прерывателя неподвижно. Диск ротора и пластина статора изготовлены из Ti-Zr сплава с нулевой когерентной длиной рассеяния. На диске ротора имеются 1024 радиальные щели, заполненные Gd_2O_3 . Они равномерно расположены по окружности диска, их ширина на среднем радиусе 229 мм составляет 0.7 мм. На диске статора расположены аналогичные щели шириной 0.7 мм на среднем радиусе 221 мм.

Для вращения диска фурье-прерывателя используется асинхронный двухполюсный двигатель MBT 132SB (ABB Motors, Швеция) мощностью 7.5 кВт. Он обеспечивает максимальную скорость вращения 9000 об./мин., что соответствует частоте модуляции пучка нейтронов в 150 кГц. На оси двигателя через мембранную муфту SARJA GP10, которая допускает максимальную скорость передачи до 10000 об./мин при кинематической ошибке передачи до $\pm 35''$, установлен инкрементный оптический кодирующий датчик скорости Encoder TK2-560-F-1024/512-12/5-V-10-P-02 LD (TEKEL, Италия). Датчик имеет два кодирующих оптических диска и два независимых канала электроники с дифференциальными выходными сигналами (512 имп./об. - для измерения скорости и ускорения в системе управления и 1024 - для pick-up сигнала RTOF-анализатора). Для обеспечения питания электроники датчика и оптической развязки используется блок интерфейса pick-up сигнала.

Питание двигателя подается от управляющего привода VECTOR (Control Techniques, Великобритания), модифицированного для управления в диапазоне скоростей от -9000 до +9000 об./мин (знак показывает направление вращения вала двигателя). Управляющий привод содержит встроенный микрокомпьютер, который реализует алгоритм управления в виде двух циклов. Один из них построен на основе контроля скорости вращения, а другой - на основе контроля крутящего момента вала двигателя. Встроенный микрокомпьютер содержит таблицу из нескольких десятков параметров, которые используются для контроля состояния двигателя и управляющего привода со стороны компьютера, а также для задания требуемого режима работы.

Измерения зависимости скважности pick-up сигнала от скорости вращения вала двигателя показали, что при скорости выше 3000 об./мин из-за частотных характеристик датчика и блока интерфейса наблюдается более, чем 30 % ухудшение этого параметра, что приводит к увеличению искажений формы дифракционных пиков. На рис.5 показана измеренная в процессе эксперимента в микросекундном временном диапазоне автокорреляционная функция. Она характеризует качество модуляции нейтронного пучка по соответствующему закону. Из графика видно, что шумовые колебания функции составляют не более 0.9%.

Связь управляющего привода с компьютером А осуществляется через последовательный интерфейс RS485 и преобразователь RS485/RS232. В режиме накопления компьютер поддерживает определенный закон изменения скорости

вращения фурье-прерывателя, и поэтому не доступен пользователю в течение всего времени, пока выполняется заданная серия измерений. Во время накопления на дисплее компьютера А представлена необходимая информация, позволяющая контролировать состояние системы, процесс измерений и работу фурье-прерывателя.

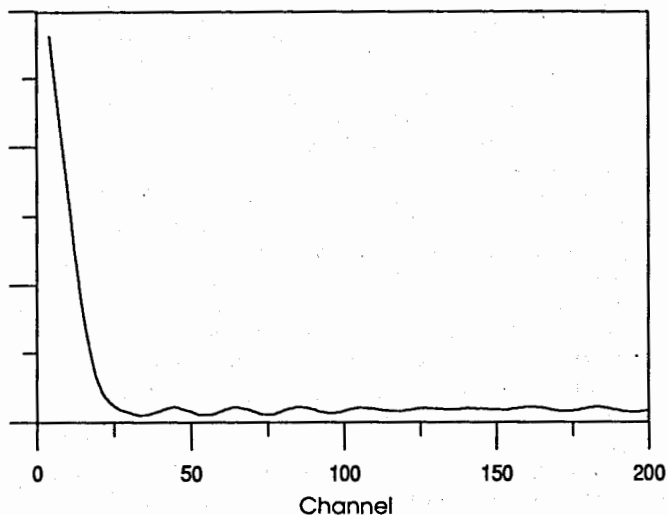


Рис.5. Автокорреляционная функция pick-up сигнала.

Программное обеспечение систем состоит из пакета подпрограмм, выполняющих операции с системой BITBUS и реализованных в виде резидентной TSR-программы[8], набора подпрограмм прикладного характера, разработанных в Центре технических исследований (Эспоо, Финляндия), и программы FDC, управляющей системой в целом.

Перед началом работы с системой накопления фурье-спектров необходимо привести в рабочее состояние аппаратуру RTOF-анализаторов путем выполнения процедуры автоконфигурации. Эта процедура предусматривает не только логическое соединение всех блоков в стандарте BITBUS, но и их автоматическое тестирование. Поэтому процедура автоконфигурации выполняется около 4 минут.

После этого записываются параметры, определяющие режим работы RTOF-анализаторов в аппаратуру системы накопления. Все заданные параметры автоматически записываются в файл PARAM.D.DAT. При запуске программы FDC параметры считываются и с помощью команды SETUP можно изменить их значение. Ниже перечислены параметры, которые записываются в RTOF-анализаторы:

1) ширина временного канала RTOF-анализаторов;

2) величина задержек Delay_1 и Delay_2 (первая определяет начало регистрируемого спектра относительно начала строба, а вторая - задержку строба относительно старта реактора);

3) режим работы (RTOFPP - для накопления положительной составляющей спектра, RTOFPN - для накопления отрицательной составляющей и AUTO - для накопления автокорреляционной функции).

Перечисленные параметры перед измерением записываются в аппаратуру RTOF-анализаторов, после чего система накопления готова к работе. Изменение этих параметров возможно только после выполнения процедуры автоконфигурации.

С помощью этой же команды задаются параметры, которые определяют работу программы FDC при выполнении серии измерений. В их число входят следующие параметры:

- 1) время одного измерения;
- 2) количество измерений в серии;
- 3) имя файла данных, куда будут записываться результаты эксперимента;
- 4) максимальная скорость вращения ротора прерывателя;
- 5) тип частотного окна, определяющий закон изменения

скорости вращения фурье-прерывателя и, следовательно, закон изменения частоты модуляции пучка нейтронов;

6) количество ступеней (дискретность) изменения скорости вращения прерывателя (или, что то же самое, количество точек на кривой функции распределения частоты модуляции пучка нейтронов).

Параметр, характеризующий тип частотного окна, требует дополнительных пояснений. Во-первых, для того, чтобы осуществить фурье-синтез в процессе накопления по обратному фурье-методу, частота модуляции пучка нейтронов должна меняться подходящим образом в широком интервале от нуля до некоторой максимальной величины. Во-вторых, в результате проведенных ранее исследований для получения максимального разрешения модуляция пучка нейтронов должна изменяться в соответствии с функцией плотности частот (так называемым частотным окном) Блакмана[6], аналитическое выражение которого выглядит следующим образом:

$$g(u) = 1 + p \cos(\pi u) + q \cos(2\pi u),$$

где

$p = 1.03$, $q = 0.08$, $u = f/f_{\max}$ (f - текущее значение частоты, а f_{\max} - максимальное значение частоты).

В-третьих, пользователю предлагаются различные варианты реализации одной и той же модели частотного окна. Их различие связано с попытками нейтрализовать отрицательные последствия механических погрешностей фурье-прерывателя при выполнении заданного режима вращения.

В программе реализовано четыре варианта частотного окна, каждый из которых соответствует заданному закону изменения частоты модуляции пучка нейтронов путем изменения скорости вращения ротора фурье-прерывателя. Максимальные значения частоты вращения фурье-прерывателя лежат на кривой функции частотного окна, их количество определяет точность приближения дискретного представления теоретической функции плотности частоты модуляции пучка фурье-прерывателем. Изменение скорости от одного показания до другого выполняется с постоянным по абсолютной величине

ускорением, которое рассчитывается на основании выбранной пользователем максимальной скорости вращения и времени, отводимого на одно измерение.

В программе варианты частотного окна обозначены символами (A,S,P,N) и имеют следующее значение:

1) A - асимметричный тип. Данный режим реализует заданный закон частоты модуляции пучка нейтронов путем последовательного достижения точек максимальной скорости, которые лежат на кривой плотности частот. Так, от начального состояния (от нулевой скорости) ротор фурье-прерывателя разгоняется до первой точки. Затем, по ее достижении, скорость вращения уменьшается до нуля и потом происходит переход к следующей точке на кривой частотного окна, но направление вращения - обратное.

2) S - симметричный тип. Для этого режима заданное количество точек дискретизации на функции плотности спектра частот удваивается для того, чтобы компенсировать возможные погрешности, связанные с направлением вращения фурье-прерывателя (количество изменений направления вращения с "+" на "-" и "-" на "+" одинаково). Так, от начального состояния (от нулевой скорости вращения) фурье-прерыватель разгоняется до максимального значения скорости вращения в направлении "+", затем замедляется до нулевой скорости и разгоняется до той же самой скорости, но в направлении "-", а потом снова до нулевой скорости. После этого происходит переход к следующей точке на кривой частотного окна.

3) P - положительный тип. В этом режиме при реализации заданной функции частоты модуляции пучка используется вращение ротора двигателя только в одну сторону (в сторону "+"). Для каждой точки фурье-прерыватель разгоняется от нулевой скорости до максимальной, а затем замедляется до нулевой.

4) N - отрицательный тип. В этом режиме реализация заданного частотного закона достигается вращением ротора двигателя с сторону "-" аналогичным способом, как и для положительного типа.

После того, как аппаратура и программное обеспечение системы накопления спектров высокого разрешения подготовлены к проведению измерений, можно инициировать выполнение серии измерений. Все отдельные измерения, входящие в одну серию, однотипны и выполняются при одинаковых параметрах системы накопления. Результаты отдельных измерений записываются в файлы, расширение имени которых является номером измерения в данной серии. Дополнительно к заданному пользователем имени файла, добавляется цифра 1,2,3 или 4. Цифры 1,2 и 3 обозначают, что данный файл содержит информацию из RTOF-анализатора с соответствующим номером, а 4 - график изменения скорости вращения прерывателя.

Аппаратура RTOF-анализаторов на протяжении выполнения всей серии измерений работает в одном режиме, выполняя команды начала накопления спектра (начало измерения) и останов накопления (конец измерения). Управляющий компьютер для каждого отдельного измерения обеспечивает заданный режим вращения фурье-прерывателя, запись файлов с результатами измерений, отображение всей необходимой информации на экране монитора и выполнение команд пользователя, связанных с прекращением измерений. Отображаемая на экране информация включает данные о текущем состоянии системы, номер выполняемого измерения в серии, время начала и окончания

измерения, текущее время, показания скорости вращения прерывателя, графическое представление всего частотного окна и той его части, которая уже пройдена в процессе измерения.

Помимо перечисленных функций программа FDC позволяет управлять двигателем фурье-прерывателя с помощью операций низкого уровня. В частности, можно задать постоянную скорость вращения фурье-прерывателя, изменить или прочитать параметры управляющего привода.

Особенностью работы управляющего привода VECTOR является то, что он запоминает все свои параметры при выключении питания, поэтому программа FDC в начале работы считывает параметры VECTOR и сохраняет их в файле VEC_D.VPL. При необходимости с помощью программы FDC пользователь может изменить интересующие его параметры, записать их в устройство управления VECTOR и в файл. Если состояние устройства VECTOR будет изменено каким-либо тестом или в результате неисправности, то программа FDC позволяет обнаружить это и исправить.

Все служебные файлы, которые создает или использует программа FDC, располагаются в текущем каталоге файловой системы, т.е. откуда инициирована программа управления системой накопления спектров высокого разрешения - программа FDC. Место расположения файлов со спектрометрической информацией задается пользователем при подготовке системы к измерениям.

Для анализа, предварительной обработки и графического представления спектров, полученных на ФДВР, создана программа FD. Она позволяет вычислить сумму или разность спектров, вычислить и сохранить в отдельном файле спектр высокого разрешения. С помощью курсоров можно пометить интересующий участок спектра и представить его в увеличенном масштабе, а также, пользуясь курсором, вычислить параметры дифракционных пиков (площадь, положение, ширину на половине высоты, разрешение, среднюю интенсивность и дисперсию). Исходные спектры, так же, как и результаты вычислений, выводятся в процессе работы на экран в графическом и цифровом виде. При необходимости программа позволяет вывести представленный в графическом виде набор спектров и числовую информацию на печать или записать часть спектра в виде файла для последующей работы в пакете GRAPHER. Исходные данные для программы FD могут быть представлены в виде 4- или 2-байтовых целых чисел, или в текстовом виде в файлах стандартного для ФДВР формата.

3. Система для накопления спектров низкого разрешения

Система для накопления спектров низкого разрешения имеет два независимых канала накопления с использованием соответственно точечных и одномерного позиционно-чувствительного детекторов. В качестве точечных детекторов применяются газовые нейтронные детекторы типа СМД [9], а также описанный выше сцинтиляционный литиевый детектор.

Позиционно-чувствительный детектор с высокоомным анодом выполнен в виде полого цилиндра диаметром 5 см и длиной 50 см. Сопротивление анодной нити равно 1.5 кОм. Наполнение детектора - комбинированное: 7 атм

^3He , 3 атм Ar и 0.5 атм CO_2 . Напряжение на аноде составляет примерно 2.5 кВ. Электроника детектора позволяет разбить его на позиционные группы (от 1 до 64 групп). Собственное разрешение детектора - около 6 мм.

Электронная аппаратура точечных детекторов состоит из предусилителей, расположенных непосредственно около детекторов, кодировщика номера детектора, преобразователя время-код, инкрементной памяти емкостью 256К 16-разрядных слов и блока кадрового заполнения памяти. Аппаратура ПЧД содержит два предусилителя, двоянный АЦП, спецпроцессор определения позиции, преобразователь время-код, формирователь двумерного кода позиции и времени, инкрементную память емкостью 64 К 16-разрядных слов [4].

Накопление данных в инкрементную память осуществляется по каналу прямого доступа через внешний разъем без участия процессора управляющего компьютера. Время накопления определяется по кварцевым часам, выполненным в виде блока КАМАК. Блок счетчиков обычно используется для измерения мониторингового и интегрального счета.

Помимо накопления обычных временных спектров система накопления может работать в режиме временного сканирования, когда устройство кадрового заполнения формирует базовый адрес, который компонуется с номером временного канала и номером зарегистрировавшего нейтрон детектора или номером сработавшей позиционной группы на ПЧД. Базовый адрес меняется периодически по истечении времени экспозиции кадра, которое задается пользователем при подготовке аппаратуры к работе. Таким образом в режиме временного сканирования в инкрементной памяти в следующих друг за другом участках регистрируются временные спектры от используемых детекторов. Этот режим позволяет наблюдать изменения дифракционного спектра во времени, отражающие происходящие изменения структуры образца под воздействием внешних условий.

Управление аппаратурой системы для накопления спектров низкого разрешения осуществляется от компьютера В с помощью программы NDC. Программа позволяет управлять накоплением данных по двум независимым каналам в интерактивном и автоматическом режимах. При этом в автоматическом режиме можно задать изменение ориентации образца, а также изменение температуры образца. Одновременно с записью на диск спектров в специальный файл может записываться протокол измерений, а также график изменения температуры образца, если соответствующее устройство используется в эксперименте.

Спектрометрическая информация, записанная в виде файлов или хранящаяся в инкрементной памяти, может быть просмотрена пользователем в графическом или числовом виде. Для этого создана программа NDVI. Она позволяет выводить информацию в виде одномерных графиков или их наборов, в виде повехностей или карты уровней (упрощенная аналогия линий уровней на цветном дисплее). Предусмотрена также возможность вывода графиков на печатающее устройство или копирование части графика в файл в формате, пригодном для последующего использования его в пакетах иллюстративной графики (GRAPHER, SURPHER), которые позволяют получать высококачественное изображение на различных графических устройствах.

В процессе просмотра данных, накопленных от детекторных систем, в

графическом виде программа NDVI позволяет сравнивать спектры от разных детекторов или от одного детектора, но соответствующие различным моментам времени. Можно объединить на экране все спектры, полученные от одного детектора, и таким образом проследить эволюцию спектра во времени. Пользователь имеет возможность в интерактивном режиме выделить интересные его пики и посчитать их параметры (полуширину, высоту, положение, площадь или объем) - это относится и к одномерным, и к двумерным пикам. Результаты такого счета автоматически могут быть выведены в текстовый файл или непосредственно на печатающее устройство.

4. Управление оборудованием дифрактометра

Управление платформами, гониометром, статором фурье-прерывателя, печью осуществляется с помощью двух микропроцессорных блоков [9,10] в стандарте КАМАК от компьютера В. Устройство управления и программа NDC позволяют работать с механическими устройствами дифрактометра, имеющими датчики положения или с установленными на них концевыми выключателями. Перед работой с каким-либо мотором необходимо, чтобы программа NDC имела информацию о текущем положении оси выбранного мотора. Для этого можно считать код датчика положения, путем выполнения операции инициализации, или выполнить процедуру установки оси в исходное положение. Автоматически определить положение оси не всегда возможно. В таких случаях программа NDC позволяет пользователю ввести с клавиатуры значение угла, характеризующего положение оси выбранного мотора.

Микропроцессорный блок, осуществляющий непосредственное управление печью, вместе с программой NDC выполняет следующие функции:

- нагревание или охлаждение с максимально возможной скоростью;
- нагревание или охлаждение с заданной скоростью;
- нагревание с фиксированным напряжением на нагревателе;
- стабилизацию температуры образца на заданном уровне;
- регистрацию и накопление во внутреннем буфере микропроцессорного блока графика изменения температуры образца во времени.

Программа обеспечивает экстренное отключение питания от печи по команде пользователя или по достижении заранее заданного верхнего предела температуры. График температуры может быть считан в компьютер и записан в виде файла. В случае выполнения серии измерений в автоматическом режиме график температуры сохраняется в виде отдельного файла одновременно с файлами экспериментальной информации.

Управление рефрижератором от компьютера выполняется через последовательный интерфейс. Реализация алгоритма регулирования осуществляется микропрограммным устройством управления. Пользователю доступны команды, обеспечивающие достижение заданной температуры образца с указанной скоростью или в соответствии с пропорциональным законом. По достижении заданной температуры устройство управления обеспечивает ее стабилизацию на достигнутом уровне. Помимо этого программа NDC позволяет путем периодического считывания показаний датчика регистрировать и сохранять график изменения температуры образца в

процессе выполнения рефрижератором команды выхода к заданной температуре образца с указанными параметрами. График изменения температуры, полученный от устройства управления печью или рефрижератора, может быть представлен в графическом или числовом виде.

Представленная в работе система автоматизации успешно функционирует с конца 1992 г. На установке в штатном режиме проводятся физические эксперименты.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность В.Л.Аксенову за поддержку и постоянное внимание к работе, А.М.Балагурову и В.Г.Симкину за помощь в работе и полезные обсуждения.

Литература

1. Balagurov A.M., Physica B, 1991, v.174, p.542.
2. Aksenov V.L. et al. JINR, E13-92-456, Dubna, 1992.
3. Muratov V.G. et al. The Fourier Chopper and RTOF Data Acquisition System of HRFD and the Upgrade Mini-SFINKS. International Seminar on Structural Investigations at Pulsed Neutron Sources, Dubna, 1-4 September 1992.
4. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, P-10-91-155, Дубна, 1991.
5. Кудряшев В.А. и др. Препринт ЛИЯФ, №1562, Ленинград, 1989.
6. Трунов В.А. и др. Препринт ЛИЯФ, №1277, Ленинград, 1987.
7. Hiismaki P. et al. Exploitation of the Fourier Chopper in Neutron Diffractometry at Pulsed Sources. J.Appl.Crust.(1988).21,349-354.
8. DCM810 Network Manager User's Manual. IST, Inc. USA, 1991.
9. Королев В.И. и др. - ПТЭ, 1969, №4, с. 208.
10. Барабаш И.П. и др. ОИЯИ, 13-89-818, Дубна, 1989.
11. Замрий В.Н. и др. ОИЯИ, P13-89-508, Дубна, 1989.