

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P10-94-434

Д.Г.Георгиев, В.В.Нитц, А.И.Островной, Т.Б.Петухова,  
А.П.Сиротин

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНИТНЫХ СОСТОЯНИЙ  
И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ, ИНДУЦИРОВАННЫХ  
ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, НА ИБР-2

1994

Георгиев Д.Г. и др.

Спектрометрическая система для исследований магнитных состояний и фазовых переходов, индуцированных импульсным магнитным полем, на ИБР-2

Описывается спектрометрическая система для исследований на ИБР-2 с помощью рассеяния нейтронов магнитных состояний и фазовых переходов, индуцированных импульсным магнитным полем.

Программное обеспечение предусматривает:

- управление двумя каналами накопления спектрометрической информации и регистрацию мониторингового счета;
- дистанционное управление исполнительными механизмами;
- управление системой измерения и стабилизации температуры образца;
- автоматическое снятие угловой зависимости интенсивности дифракционных отражений на монокристалле от угла Брэгга;
- управление импульсной магнитной установкой;
- автоматическую пространственную ориентацию монокристаллических образцов.

Разработанные программы обеспечивают графическое представление и оперативный анализ спектрометрических данных.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Georgiev D.G. et al.

P10-94-434

A Spectrometric System for Investigation of Magnetic States and Phase Transitions Induced by the Pulse Magnetic Field at the IBR-2 Reactor

A spectrometric system of the SNIM-2 device for research at the IBR-2 reactor of magnetic states and phase transitions induced by the pulse magnetic field is described. The software provides:

- control of two channels for collection of a spectrometric information and registration of the monitor's count;
- remote control of moving mechanisms;
- control of the system for measurement and stabilisation of the temperature;
- automatic measurement of the angle dependence of the diffraction scattering intensity for the single crystal;
- control of the pulse magnetic facility;
- automatic orientation of the single crystal.

The worked-out programs maintain the graphic mode and provide primary analyses of the spectrometric data.

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

## ВВЕДЕНИЕ

В данной работе приведено описание электронно-измерительной системы и программного обеспечения спектрометра СНИМ-2<sup>1,2/</sup>, используемого на реакторе ИБР-2. Спектрометр предназначен для исследований с помощью рассеяния нейтронов структуры и динамики фазовых состояний, индуцированных в монокристаллах импульсным магнитным полем. При разработке системы и создании программного обеспечения проявились специфика физических измерений по времени пролета нейтронов на импульсном реакторе и особенности управления импульсной магнитной установкой.

Система реализована на базе персонального компьютера IBM PC/AT и крейта КАМАК с использованием контроллера КК-009<sup>3/</sup>.

## ЭЛЕКТРОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ

Система контроля, управления и накопления спектрометрической информации представлена на рис 1.

Тракты регистрации детекторных импульсов состоят из предусилителей, усилителей, блока временного окна БВО-2, программируемого временного кодировщика ВКП-4<sup>4/</sup> и буферного запоминающего устройства ОЗУ-16К<sup>5/</sup>. Эффективное мертвое время при регистрации нейтронов около 3 мкс.

Система управления импульсной магнитной установкой обеспечивает следующую последовательность циклов работы ИМУ-2: разряд конденсаторной батареи через магнит с заданной временной задержкой 10-70 мс относительно стартового импульса реактора с точностью в несколько мкс, обратная перезарядка конденсаторов через балластную индуктивность, включение высоковольтного выпрямителя через 20 мс после импульса разряда и выполнение зарядного процесса. Процесс заряда прекращается при достижении заданного напряжения на конденсаторной батарее, после чего с заданной задержкой следует новый разряд и цикл повторяется. Синхронно со стартом реактора во время разрядного цикла происходит запуск ВКП-4 и накопление спектрометрической информации в ОЗУ-16К.

Блок управления импульсной магнитной установкой (БУИМУ), описанный в работе<sup>6/</sup>, обеспечивает все необходимые режимы работы ИМУ-2, контроль за монитором и экспозицией по количеству стартовых импульсов реактора. Блок контроля и защиты (БКЗ) обеспечивает защиту установки при превышении предельно допустимых значений импульсов зарядного тока или напряжения на какой-либо из

конденсаторных секций, при выходе из строя какого-либо коммутатора, при срабатывании защиты в электрической системе управления.

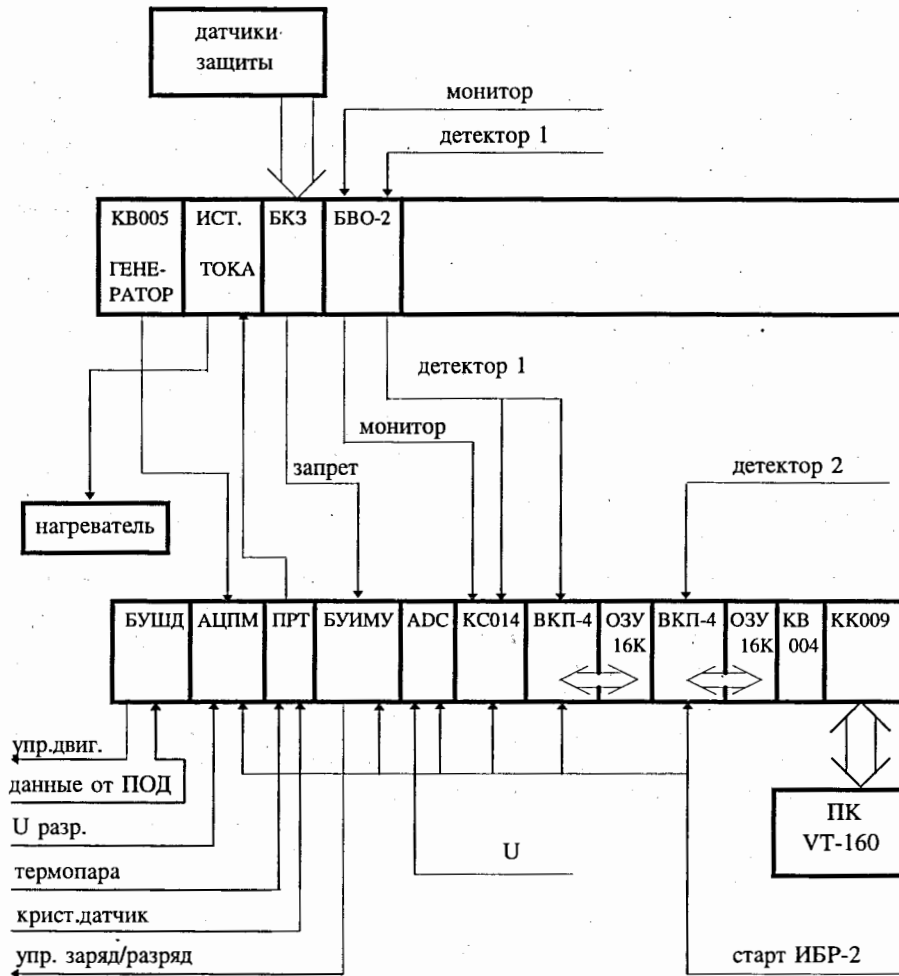


Рис.1 Блок-схема спектрометрической системы

Блок АЦПМ обеспечивает регистрацию амплитуды и формы разрядных импульсов, поступающих с токового трансформатора. Дискретность регистрации задается программно - 8, 16, 32 или 64 мкс, число каналов - до 1024, точность измерения величины тока в пределах 0,5%. В процессе физических измерений при каждом заданном напряжении на конденсаторной батарее определяется распределение циклов работы установки по фактическим значениям этого напряжения. Для этого используется 12-разрядный блок АРС с памятью 4К слов. Ширина этого распределения не превышает 0,3% от среднего значения напряжения.

Система управления исполнительными механизмами построена на базе многофункционального микропроцессорного блока БУЩД-3<sup>7/</sup>. БУЩД-3 обеспечивает управление всеми подвижными частями дифрактометра, выполненными на основе шаговых двигателей ДШИ-200:

- а) трехосный гониометр ГКС-100 с диапазоном вращения  $\pm 180^\circ$  относительно вертикальной оси и  $\pm 25^\circ$  относительно двух горизонтальных осей,
- б) механизм точного поворота гелиевого криостата с образцом вокруг вертикальной оси,
- в) механизм поворота азотных криостатов с образцом вокруг вертикальной оси,
- г) механизмы поворота двух больших плеч спектрометра,
- д) механизмы поворота двух малых плеч спектрометра с детекторами,
- е) центральный стол спектрометра.

Большие и малые плечи спектрометра и механизм поворота гелиевого криостата оснащены оптическими датчиками положения, а гониометр и механизм поворота азотного криостата имеют "программный" датчик положения и концевые выключатели, играющие роль датчиков исходных положений.

Программируемый регулятор температуры ПРТ<sup>8/</sup>, источник тока, нагреватель, гелиевый и азотный криостат обеспечивают заданную температуру на исследуемых образцах. Измерение температуры осуществляется термопарами медь-константан при температуре более 80К и монокристаллическими сопротивлениями для более низких температур. Стабилизация температуры происходит с точностью 1%.

Система также укомплектована программно-управляемыми четырехканальной пересчеткой КС-014 и таймером КВ-004, имеющими индикацию на передней панели.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В процессе разработки программного обеспечения спектрометра требовалось обеспечить проведение различных видов управления и измерений, предусмотренных при использовании СНИМ-2, и возможность сравнительно легкого ввода в программу новых алгоритмов при дальнейшем развитии системы.

Программное обеспечение спектрометра СНИМ-2 разработано в виде комплекса программ, функционально дополняющих друг друга и обеспечивающих диалог с

пользователем. Комплекс включает программы для подготовки системы к измерениям, тестирования используемой аппаратуры КАМАК, автоматизации процесса проведения измерений, оперативного анализа накопления данных.

Запуск главной программы осуществляется командой SNIM2C. Происходит начальная инициализация системы и на экране РС появляются два прямоугольных окна. Левое окно содержит меню со списком выполняемых программ, каждую из которых можно выбрать по соответствующему номеру или с помощью клавиш [↑] и [↓] выделить требуемую программу и, нажав [Enter], инициировать ее выполнение.

Правое окно содержит информацию о состоянии системы в текущий момент времени. Эта информация хранится в специальном файле состояния системы на диске. Файл является общим для всех программ и содержит дату, время начала и конца измерений, имена файлов для спектров, температуру монокристаллического образца, данные о текущем положении осей гониометра и другую необходимую информацию. Эта информация обновляется во время работы системы по мере изменения ее состояния. Поэтому в случае сбоя в работе программы или аппаратуры можно легко восстановить состояние программной системы и продолжить ее работу с момента, который был зафиксирован в файле состояния.

Разработаны следующие программы измерений и управления:

1. Управление двумя каналами накопления спектрометрической информации и регистрация мониторингового счета.

Управление осуществляется с помощью интерактивных команд. В их число входят команды начала, приостановки и продолжения измерения, записи данных на диск (имя файла включает его порядковый номер, который меняется автоматически). Для каждого канала накопления генерируется своя независимая серия имен файлов, в которые записывается накапливаемая по этому каналу спектрометрическая информация.

Управление каждым из каналов накопления может осуществляться как независимо, так и одновременно. Для этого существует специальная команда выбора рабочего канала.

Существует возможность организовать серию измерений с одним из двух каналов или одновременно с двумя. Специальная команда позволяет подготовить серию, определив количество измерений в ней, время накопления данных в каждом измерении, инициировать выполнение серии, приостановить, продолжить или прекратить ее выполнение.

2. Дистанционное управление подвижными элементами спектрометра.

Управление обеспечивается блоком управления шаговыми двигателями (БУШД-3). Программа позволяет провести начальную инициализацию исполнительных механизмов, переместить каждый из них в заданное положение. В качестве контрольных точек на гониометре используются имеющиеся на нем концевые выключатели, другие механизмы оснащены оптическими датчиками. Управление

разгоном и торможением шаговых двигателей реализуется аппаратным способом в БУШД-3.

3. Управление системой измерения и стабилизации температуры образца в азотном и гелиевом криостатах.

Управление осуществляется микропроцессорным блоком регулирования температуры (ПРТ). В зависимости от используемого термозлемента пользователь выбирает микропрограмму, которая является файлом на диске, и с помощью специальной команды загружает его в ПРТ. Программа, работающая на РС, позволяет приостановить работу микропроцессора для занесения в его ОЗУ новой управляющей информации (температура образца, точность стабилизации, тип криостата, максимальный ток нагревателя). Она следит за процессом стабилизации и выводит на экран терминала результат работы микропрограммы.

4. Управление ИМУ-2.

Управление ИМУ-2 обеспечивается блоком БУИМУ. Загрузочным модулем программы микропроцессора является файл на диске, который пользователь загружает в блок специальной командой.

Программа позволяет обеспечить ввод и изменение параметров работы ИМУ-2, выбрать различные режимы работы установки, формируя слово управления и блок управляющей информации; зарядить конденсаторную батарею до заданного значения напряжения; распечатать график напряжения заряда батареи на терминале в виде таблицы, а при необходимости сохранить его в файле на диске.

Предусмотрено измерение и регистрация распределения циклов работы импульсной магнитной установки по величине фактического напряжения на конденсаторной батарее, измерение формы импульсов тока и распределения по величине амплитуды импульсов тока в магните.

Программа позволяет проводить серию измерений с магнитной установкой. Команда подготовки серии определяет количество измерений в серии, задает для каждого измерения в серии величину напряжения на батарее, момент открытия выпрямителя, количество пропускаемых стартов, длительность экспозиции (в количестве стартов реактора), имена файлов для графиков распределения напряжения, для измерений формы импульсов и распределения амплитудных значений импульсов тока в магните, дает возможность приостанавливать измерения.

В процессе работы ИМУ-2 программа следит за текущими сообщениями от БУИМУ, выводит их на терминал персонального компьютера. При сообщении о непредусмотренной остановке ИМУ-2 на терминал выводятся все необходимые данные диагностики о состоянии установки.

5. Автоматическая пространственная ориентация монокристаллов по интенсивности дифракционных отражений.

Описание алгоритма ориентации, его физическое обоснование и состав используемого оборудования приведены в работе<sup>19/</sup>.

После предварительной визуальной установки на гониометре, по интенсивности рассеяния нейтронов на двух кристаллографических плоскостях производится в автоматическом режиме точная пространственная ориентация кристалла.

Перед началом ориентации вводятся все необходимые исходные параметры, в число которых входят величины шагов для "грубого" и "точного" сканирования, диапазоны сканирования по осям, длительность измерения спектра во время сканирования и контрольного измерения, положения и ширины окон во временном спектре, используемые для поиска характерных пиков, величина угла между плоскостями.

Предусмотрена возможность корректировки параметров в процессе ориентации и продолжение ее без повторения предыдущих этапов.

Во время ориентации на экран дисплея выводятся сообщения о начале очередных этапов ориентации, для каждого измерения - информация о положении осей гониометра, счет спектра в окнах, в которых ожидаются дифракционные пики, величина фонового счета. Эта же информация записывается в регистрационный файл (протокол), который можно просмотреть в процессе ориентации и после ее окончания. Протокол позволяет судить о ходе ориентации и правильности выбора значений исходных параметров.

После проведения всех операций по пространственной ориентации можно программно установить кристалл в любое положение, необходимое для проведения физических измерений.

6. Автоматическое снятие угловой зависимости дифракционного рассеяния на монокристаллах.

Для этого программно задается ряд угловых положений детектора, при которых следует выполнить измерения, и величина монитормого счета, определяющая длительность измерения в каждом положении. В процессе измерений обеспечивается поворот гониометра или криостата с образцом вокруг вертикальной оси на угол, равный половине угла поворота детектора. Предварительная ориентация образца выполняется, как в п.5. В результате измерений получается набор спектров, обработка которых позволяет получить зависимости интенсивности и формы дифракционных пиков от угла Брэгга.

#### 7. Графическое программное обеспечение

Для оперативного анализа накапливаемой информации программа дает возможность вывести на экран терминала спектры в графическом виде. При выводе спектра на экран выбирается источник информации. Им может быть файл, длина которого определяется автоматически, или ЗУ, входящее в состав каждого из физических каналов (объем ЗУ задается в интерактивном режиме при определении канала накопления и хранится в файле состояния системы). Существует возможность сжатия или растяжения спектра по вертикали и горизонтали, выделения номеров каналов, которые нужно выводить на экран; можно распечатать спектры на принтере в виде таблиц.

Графическое программное обеспечение организовано так, что его работа определяется совокупностью параметров, которые хранятся в специальном файле параметров и могут изменяться пользователем в интерактивном режиме (всякое изменение параметров автоматически фиксируется на диске в соответствующем файле).

В начале работы программа считывает файл параметров (так же как и файл состояния системы), и пользователь всегда начинает работу в том режиме, который был задан последним.

Программное обеспечение спектрометра реализовано на языке Паскаль, управление аппаратурой КАМАК осуществляется посредством пакета программ, созданных для используемого в системе контроллера крейта КК-009.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спектрометрическая система СНИМ-2 для исследований на ИБР-2 магнитных состояний и фазовых переходов, индуцированных импульсным магнитным полем позволяет проводить сложные комплексные измерения с использованием дифракции и неупругого когерентного рассеяния нейтронов.

Созданное программное обеспечение позволило полностью автоматизировать процесс физических измерений на спектрометре с возможностью контроля параметров работы установки и внесения изменений в значения параметров с последующим продолжением измерений.

Электронное оборудование СНИМ-2 и программное обеспечение спектрометра позволили выполнить исключительно точные измерения по кинетике магнитных фазовых переходов в антиферромагнитных веществах<sup>10/</sup> и по индуцированному внешним магнитным полем антиферромагнитному упорядочению в кристаллах<sup>11/</sup>. В первом случае стабильность работы комплекса позволила измерять гистерезисные явления с относительной шириной петли гистерезиса 0.5%, что является весьма хорошим техническим достижением, принимая во внимание импульсный характер магнитного поля и необходимость длительного набора статистики. Во втором случае достигнута высокая чувствительность в измерениях индуцированной антиферромагнитной компоненты ионов  $\text{Ho}^{+3}$  в  $\text{HoFeO}_3$ , являющихся в исходном состоянии парамагнитными. При этом получены надежные результаты, начиная с 0.04 магнетона Бора на один ион, что совершенно недостижимо для каких-либо других известных методик и существующих в научном мире спектрометров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев Б.Н. и др. ОИЯИ, P13-89-517, 1989.
2. Вареник Г.А. и др. ОИЯИ, P13-89-518, 1989.
3. Георгиев А., Чуринов И.Н. ОИЯИ, P10-88-381, 1988.
4. Барабаш И.П. и др. ОИЯИ, 10-84-158, Дубна, 1984.

5. Ермаков В.А., Зимин Г.Н. ОИЯИ, 10-83-194, Дубна, 1983.
6. Вагов В.А. и др. ОИЯИ, 13-89-133, Дубна, 1989.
7. Вагов В.А., Сиротин А.П. ОИЯИ, 13-87-316, Дубна, 1987.
8. Замрий В.Н. и др. ОИЯИ, Р13-89-508, Дубна, 1989.
9. Нитц В.В. и др. ОИЯИ, Р10-86-270, Дубна, 1986.
10. Георгиев Д., Нитц В.В., ОИЯИ, Р14-94-429, Дубна, 1994.
11. Буйко С.А. и др., ОИЯИ, Р14-94-431, Дубна, 1994.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 ноября 1994 года.