

P13-2009-140

С. А. Кутузов, А. А. Богдзель, Д. А. Балагуров,
Г. М. Миронова

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОЙ ЗАПИСИ
ПОТОКА ДАННЫХ НА ПУЧКЕ
ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ИБР-2
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРОВ
ОТ КАЖДОГО ИМПУЛЬСА МОЩНОСТИ

Кутузов С. А. и др.

P13-2009-140

Система непрерывной записи потока данных на пучке импульсного реактора ИБР-2 при регистрации спектров от каждого импульса мощности

Предложена, разработана и реализована система продолжительного непрерывного накопления потока данных на нейтронном пучке импульсного реактора ИБР-2 в режиме регистрации спектров рассеяния от образца за каждый импульс мощности. Система, основанная на применении персонального компьютера и USB-технологии, продемонстрировала работоспособность и надежность в течение недельного цикла измерений. Аналогичная аппаратура будет использоваться на нейтронном пучке реактора ИБР-2М для исследования изменения структуры и микроструктуры конденсированных сред при фазовых переходах и химических реакциях с субмиллисекундным разрешением, для изучения редких событий в квазистабильных объектах, а также в экспериментах со стабильными образцами для контроля аппаратуры и реактора.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Kutuzov S. A. et al.

P13-2009-140

System of Continuous Data-Flow Recording at a Beam of the IBR-2 Pulsed Reactor in the Mode of Obtaining Scattering Spectra from Each Power Pulse

A system for long-term continuous accumulation of data-flow on a neutron beam of the IBR-2 pulsed reactor in the mode of obtaining scattering spectra from a sample for each power pulse has been suggested, developed and realized. The system based on the application of a personal computer and USB-technology has demonstrated its serviceability and reliability during a week-long measurement cycle. Similar equipment will be used on a neutron beam of the IBR-2M reactor for investigations of changes in the structure and microstructure of condensed media at phase transitions and chemical reactions with sub-millisecond resolution, for studying rare events in quasi-stable objects, as well as in experiments with stable samples for controlling the data acquisition system and fluctuation of the reactor power.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

ВВЕДЕНИЕ

С середины 1980-х гг. на импульсном реакторе ИБР-2 (ЛНФ, ОИЯИ), обладающем рекордными параметрами (при средней мощности 2 МВт импульсная мощность достигает 1500 МВт при частоте повторения импульсов 5 Гц) [1], ведутся нейтронографические эксперименты в реальном времени с целью изучения кинетики фазовых переходов и химических реакций в конденсированных средах [2–8]. Впервые при секундных экспозициях были измерены спектры на больших и малых углах рассеяния, позволившие извлечь информацию об атомной структуре и микроструктуре среды на различных пространственных масштабах в процессе физико-химических превращений.

В работе [9] было показано, что режим регистрации нейтронных спектров от каждого импульса мощности ИБР-2 выводит метод на качественно новый уровень. В этом случае времяпролетная (TOF) ось, служащая для развертки по скоростям падающего на образец спектра нейтронов, может использоваться и для слежения за изменениями структуры образца с субмиллисекундным разрешением при времени между соседними импульсами мощности 200 миллисекунд. Сочетание продолжительных непрерывных измерений с регистрацией спектров от каждого импульса мощности дает уникальную возможность изучения образцов, в которых длительные малозаметные изменения параметров состояния (структуры и микроструктуры) чередуются с быстрыми спорадическими всплесками. При этом необходимым требованием к измерительной аппаратуре является условие регистрации спектров от каждого импульса в течение длительного времени (2–3 недели) без каких-либо пробелов. Существующая в ЛНФ аппаратура в стандартах КАМАК и VME не удовлетворяет этому условию. Для решения этой задачи было создано новое электронное и программное обеспечение, позволившее в декабре 2006 г. провести на 5-м пучке ИБР-2 непрерывные измерения на серии образцов в течение недели в режиме регистрации спектров от шести детекторов за каждый импульс мощности, о чем кратко было доложено в работе [10]. Целями измерений являлись проверка корректности работы аппаратуры, отработка методики проведения такого рода экспериментов, уточнение концепции новой специализированной установки — спектрометра реального времени (СРВ) [13].

БЛОК-СХЕМА АППАРАТУРЫ И МЕТОДИКА НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ

Измерительный модуль системы накопления данных в режиме регистрации спектров от каждого импульса мощности включает ПК с процессором Pentium 4, 1,7 ГГц, оперативную память 512 Мб, USB-порт и электронный блок, формирующий временной код и номер сработавшего детектора. USB-плата обеспечивает прием 16-битных слов и связь с компьютером по протоколу USB 1.1 [11]. Близким аналогом платы является NI USB 6501 [12]. Запись спектров на диск происходит в режиме ring-rong порциями по 100 импульсов. Блок-схема аппаратуры приведена на рис. 1.

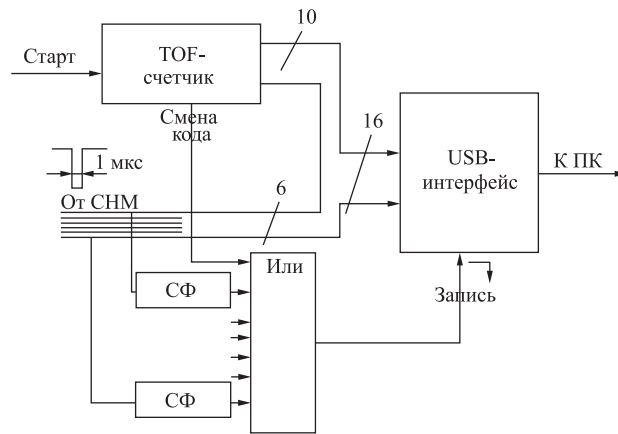


Рис. 1. Блок-схема аппаратуры (описание в тексте). СФ — согласователь-формирователь

Согласователи-формирователи и схема «Или» готовят необходимые уровни, задержки и фронты стробов для записи в USB-блок и последующей передачи в ПК пришедшего события. Сигналы с детекторов СНМ-12 обрабатываются стандартными для ЛНФ блоками усилителей-формирователей и на вход системы поступают в нормализованном виде. Формат двухбайтного сформированного слова показан на рис. 2.

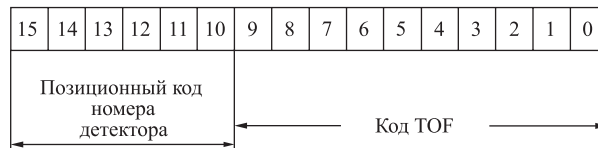


Рис. 2. Формат сформированного двухбайтного слова

Был выбран позиционный код, при котором каждому счетчику соответствует один бит. При двоичном кодировании номера детектора возможна потеря или искажение информации в случае срабатывания двух или более детекторов в течение одной микросекунды. При длине слова 16 бит число детекторов ограничено шестью. В дальнейшем при переходе на интерфейс USB 2.0 планируется увеличение длины слова до 64 бит с соответствующим расширением экспериментальных возможностей.

Передаваемые по USB-каналу данные принимаются программой в отдельном потоке. Для синхронизации программных процессов используются стандартные в операционной системе WINDOWS XP сообщения. После занесения в оперативную память компьютера очередного пакета просматривалось каждое слово и по биту, соответствующему сработавшему детектору, добавлялась единица в его временной спектр. Канал инкриминирования определялся TOF-кодом. Для исключения повторной обработки (в случае наложения импульса от другого счетчика в течение микросекунды) выставлялся флаг приема.

Проверка на возможные ошибки делалась по TOF-коду, который должен меняться не более чем на единицу в сторону роста. При достижении заключительного кадра (1023) приемный поток посылал сообщение основному процессу программы о завершении очередной временной развертки. Анализирующая часть программы, получив уведомление, записывала набранные гистограммы в файл, готовила массивы, просматривала ошибочные условия. Статистика о скорости набора данных по каждому счетчику, числе наложений, количестве стартов, зафиксированных ошибках, имени файла для записи обновлялась на экране каждую секунду. После каждых ста принятых стартов текущий файл закрывался, запись спектров переключалась на заранее открытый файл и готовилось подключение следующего.

Всего было измерено более 20 миллионов спектров (40 Гб). Огромный объем данных потребовал создания специальных программ для визуализации и операций со спектрами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Эксперимент проводился в режиме non-stop, когда каждый сигнал старта от подвижного отражателя реактора запускал регистрацию событий и запись спектров. Этот процесс продолжался при сбросах мощности реактора и при закрытии пучка. На рис.3 представлена хронограмма (суммарный счет по спектру за сто импульсов мощности с одного из гелиевых детекторов в течение нескольких суток), своего рода электронный экспериментальный журнал. Такой режим работы позволяет не тратить время и внимание экспериментатора на диалог с программой, делает наглядной хронологию всех действий

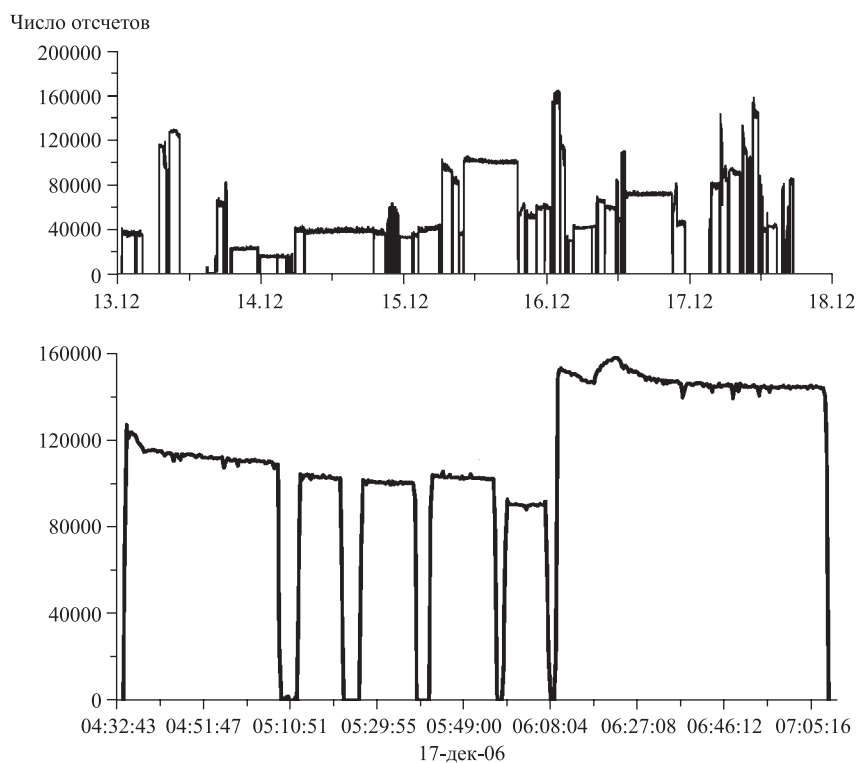


Рис. 3. Хронограмма проведенных в декабре 2006 г. экспериментов за несколько суток (вверху) и ее фрагмент в течение нескольких часов (внизу). По оси абсцисс отложены сутки или часы, по оси ординат — суммарный счет одного из гелиевых детекторов за 100 импульсов реактора

по закрытию и открытию пучка и смене образцов. В течение недели были проведены реальные эксперименты с различными образцами, в основном с температурным воздействием. Управление температурой и ее контроль на образце, работа гониометра и других внешних устройств, предназначенных для вариации условий на образце, инициировались параллельно и независимо от основной программы. Этот подход сохранится и в новой версии программы, создаваемой на более современной элементной базе.

Принципиальным моментом в данной работе было выяснение корректности и стабильности работы аппаратуры. С этой целью проводились измерения на образце, не подверженном какому-либо внешнему воздействию. В качестве такого образца была выбрана керамика из окиси алюминия (Al_2O_3 , с добавкой сухого цемента для увеличения подложки), измерения спектров от

которой происходили при комнатной температуре. На рис. 4, *a* показан фрагмент из 700 измеренных за каждый импульс мощности спектров на одном из гелиевых детекторов СНМ-12 (телесный угол — 0,008 ср, угол рассеяния — 170°) и характерный спектр из этой серии, имеющий в максимуме значение около 10. На рис. 4, *б* представлены аналогичные спектры, измеренные в тех же условиях на штатном детекторе из литиевого стекла большой пло-

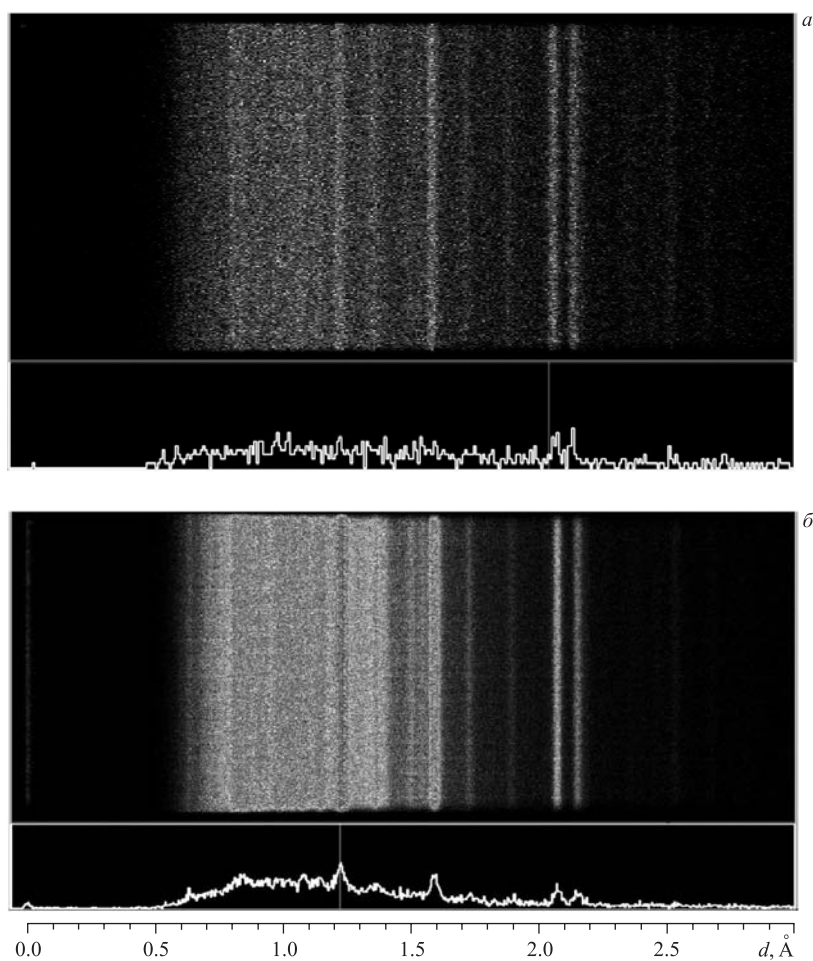


Рис. 4. *a*) Последовательность из 700 спектров, зарегистрированных на гелиевом детекторе (вверху), и характерный спектр за один импульс (внизу). Образец — керамика Al_2O_3 ; *б*) последовательность из 700 спектров, зарегистрированных на литиевом детекторе (вверху), и характерный спектр за один импульс (внизу). Образец тот же

шади (телесный угол — 0,08 ср, угол рассеяния — 152°), который в системе VME мог кратковременно (несколько минут) регистрировать спектры за каждый импульс мощности и использовался для контроля (максимальное значение счета около 70). Несмотря на предельно малую статистику, гелиевый счетчик дает адекватную информацию. Рис. 5, *a* демонстрирует флуктуацию суммарного счета по спектру на том же участке. За исключением одной «вы-

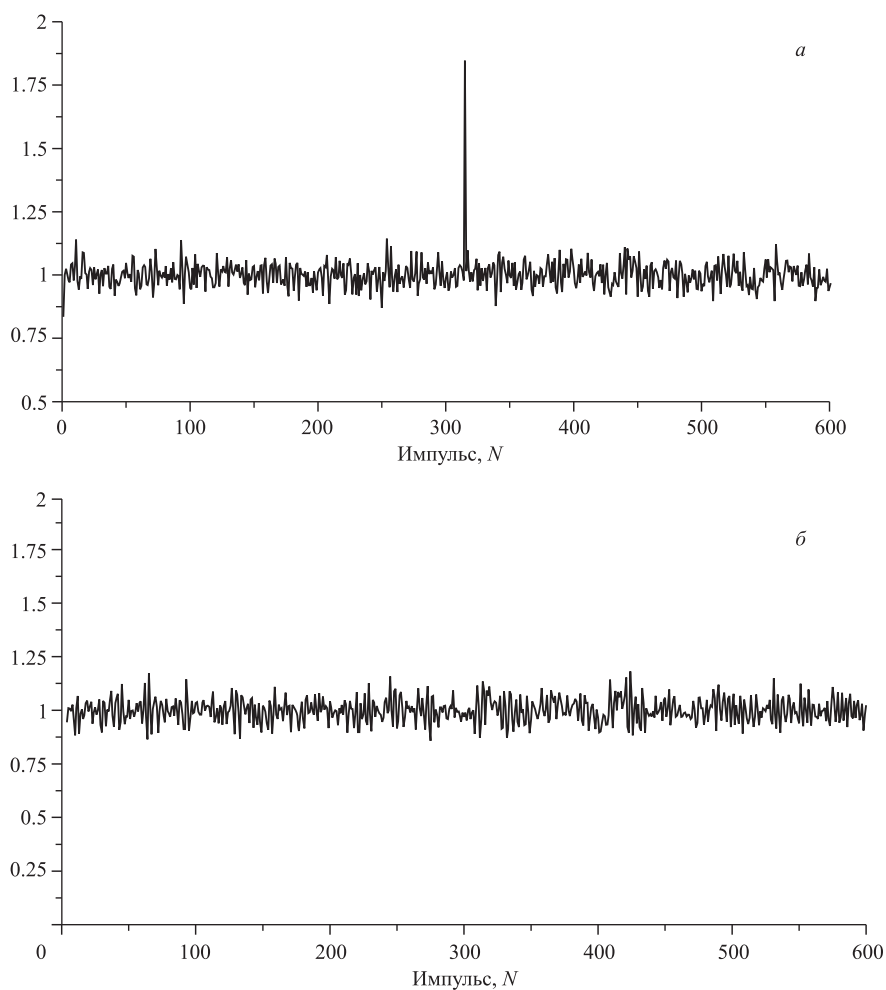


Рис. 5. *a*) Флуктуации суммы счета по спектру за каждый импульс мощности на гелиевом детекторе. Образец — керамика Al_2O_3 ; *б*) то же, что на рис. 5, *a*, для литиевого детектора

битой» точки, разброс не превышает 10%. Выбитая точка возникала каждый раз, когда экспериментатор с помощью внешней программы просматривал еще не закрытый файл. Ошибка имела локальный характер, не приводила к зависанию или сбою основной программы и будет устранена в следующей версии программы. На рис. 5, б показана аналогичная кривая для литиевого детектора. Несмотря на десятикратное превосходство в статистике для этого случая, разброс также находится на уровне 10%, что позволяет предположить причину этого эффекта в флуктуациях мощности реактора. На рис. 6 показаны спектры на двух типах детекторов, приведенные к одному максимуму интенсивности. Хорошее соответствие между ними является еще одним доказательством корректной работы обсуждаемой системы накопления.

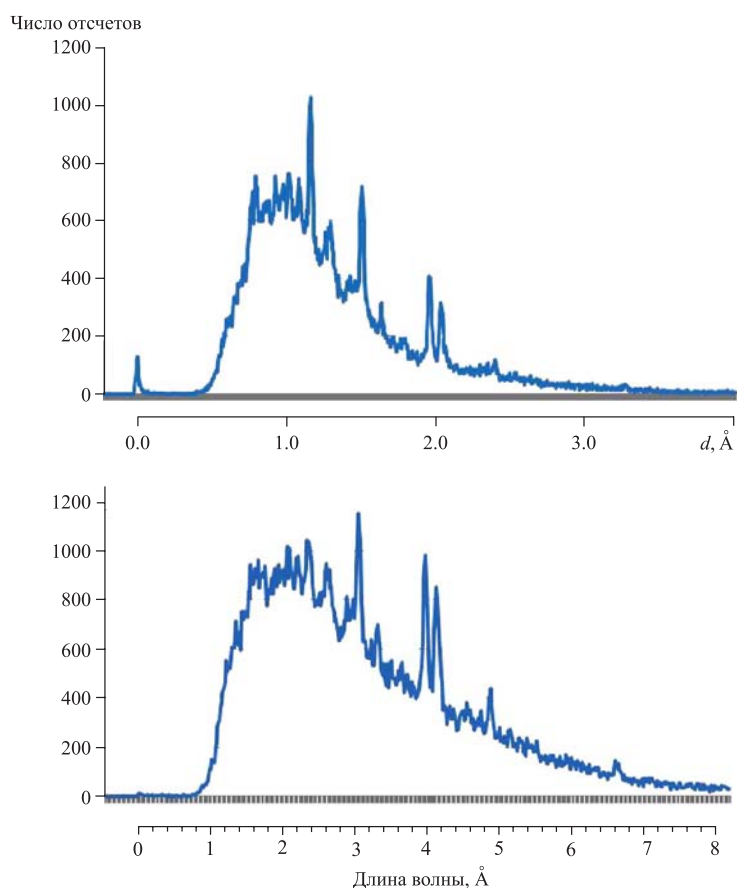


Рис. 6. Дифракционные спектры керамического образца Al_2O_3 , измеренные с помощью литиевого детектора (вверху) и гелиевого детектора (внизу)

Рис. 6 также дает подсказку относительно выбора типа детектора для будущей специализированной установки — СРВ. Гелиевые счетчики предпочтительнее, поскольку способны обеспечить более высокую гетерогенность детекторной системы и большую чувствительность к нейтронам на ниспадающем участке спектра ($> 3 \text{ \AA}$), наиболее информативном, так как естественное разрежение дифракционных линий на нем означает улучшение эффективного энергетического разрешения [14]. К тому же проблема мертвого времени на этом участке не так серьезна.

ВЫВОДЫ

Проведенный без единого сбоя эксперимент показал работоспособность и надежность электроники, дал возможность наработки опыта взаимодействия с очень большими объемами данных, а также позволил в основном сформировать концепцию будущей специализированной установки для исследований физико-химических превращений в реальном времени с субмиллисекундным разрешением. Метод измерения с регистрацией спектров за каждый импульс реактора полезно использовать и для изучения редких событий в квазистабильных объектах, а также в экспериментах со стабильными образцами для контроля работы аппаратуры и самого реактора.

Авторы выражают глубокую благодарность А. С. Никифорову и А. С. Кирилову за программу для кратковременных измерений в системе VME-спектров на литиевом детекторе за каждый импульс реактора, А. М. Балагурову и В. В. Журавлеву — за решение организационных вопросов, И. А. Бобрикову и А. П. Сиротину — за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ананьев В. Д., Архипов В. А., Бабаев А. И. и др.* Энергетический пуск реактора ИБР-2 и первые физические исследования на его пучках // Атомная энергия. 1984. Т. 57, вып. 4. С. 227–234.
2. *Балагуров А. М., Миронова Г. М.* Изучение кинетики реакции гидратации трехкальциевого алюмината методом дифракции нейтронов // Краткие сообщения ОИЯИ. 1986. № 6[19]-86. С. 50–56.
3. *Balagurov A. M., Mironova G. M., Simkin V. G.* Real Time Diffraction Experiments on High Temperature Superconducting Materials // Proc. Int. Seminar on High T_c -superconductivity, 28 June – 1 July 1989, Dubna, USSR / Eds. V. L. Aksenov, N. N. Bogolubov, N. M. Plakida. Singapore: World Sci., 1990. P. 263–268.
4. *Балагуров А. М., Миронова Г. М.* Нейтронографические исследования в реальном масштабе времени // Кристаллография. 1991. Т. 36. С. 314–325.

5. Balagurov A. M., Mironova G. M., Novozhilov V. E., Ostrovnoy A. I., Simkin V. G., Zlokazov V. B. The Application of the Neutron TOF Technique for Real-Time Diffraction Studies // *J. Appl. Cryst.* 1991. V. 24. P. 1009–1014.
6. Balagurov A. M., Mironova G. M. Phase Transformations in Materials Studied by TOF Neutron Thermo-Diffractometry // *Materials Science Forum.* 1993. V. 133–136. P. 397–402.
7. Mironova G. M. Time-Resolved Diffraction and Small Angle Neutron Scattering Study of Thermal Behavior of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Compound over a Temperature Range 900–1470 K // *Materials Science Forum.* 1993. V. 133–136. P. 847–852.
8. Mironova G. M. 20 Years of Time-Resolved Wide and Small Angle Neutron Scattering Studies at the IBR-2 // *Intern. Small-Angle Scattering Workshop, Dubna, Russia, October 5–8, 2006.* P. 54.
9. Миронова Г. М. Возможности нейтронографии в реальном масштабе времени на импульсном реакторе ИБР-2. Сообщение ОИЯИ Р13-88-326. Дубна, 1988.
10. Богдзель А. А., Кутузов С. А., Балагуров Д. А., Миронова Г. М. Реализация продолжительных непрерывных измерений в режиме одного импульса ИБР-2 с использованием USB-интерфейса // Тез. докл. XX Совещания по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния «РНИКС-2008», Гатчина, 13–19 окт. 2008 г. С. 151.
11. <http://www.usb.org/home>
12. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/201630>
USB Digital I/O Device
13. Миронова Г. М. Нейтронный спектрометр для анализа процессов в реальном времени. Предложения в программу развития комплекса спектрометров на реакторе ИБР-2М. Дубна, 2006. Р3,13-2006-73. ОИЯИ, С. 56–59.
14. Mironova G. M. A Cold Moderator at the IBR-2 as the Basis of the New Possibilities in Neutron Scattering Studies // *Proc. PANS-2, Dubna, June 14–16, 1994. Dubna, 1995.* P. 75–77.

Получено 15 сентября 2009 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 25.11.2009.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 0,91. Тираж 305 экз. Заказ № 56785.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/