

С. А. Куликов, В. И. Приходько, А. В. Чураков

Разработка газовых детекторов нейтронов в ЛНФ

В последние годы в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка достигнуты определенные успехи в разработке и создании детекторных систем и оснащении ими спектрометров реактора ИБР-2. Обзор этих систем опубликован в работе [1]. Разработанные детекторные системы включают в себя собственно детектор, аналоговую электронику, электронику сбора и накопления данных, компьютер и программное обеспечение, т. е. являются автономными подсистемами, которые легко интегрируются в состав оборудования спектрометров и вписываются в любую систему автоматизации экспериментов. Детальное описание систем сбора и накопления данных комплекса спектрометров ИБР-2 приводится в работе [2].

В данной статье кратко рассмотрены несколько типов нейтронных детекторов на основе многопроволочных пропорциональных камер с газовым наполнением $^3\text{He} + \text{CF}_4$, предназначенных как для оснащения вновь создаваемых спектрометров ИБР-2 (GRAINS,

DN-6, RTD), так и для совершенствования детекторных систем на действующих установках (ФДВР, РЕМУР, РЕФЛЕКС, ДН-12 и др.). К их числу относятся следующие детекторы.

Двухкоординатный мониторный позиционно-чувствительный детектор (ПЧД) с низким ослаблением входного пучка (размеры чувствительной области детектора — 100×100 мм, координатное разрешение $\sim 4 \times 4$ мм). Детектор используется для измерения профиля пучков нейтронов на каналах ИБР-2.

Однокоординатный ПЧД (размеры чувствительной области детектора — 200×80 мм, координатное разрешение ~ 2 мм, эффективность для тепловых нейтронов (2 \AA) — более 60%). Такие детекторы установлены на спектрометрах ФДВР и РЕФЛЕКС, а также поставлены в ИФМ УрО РАН (Екатеринбург), РНЦ «Курчатовский институт» (Москва) и филиал НИФХИ (Обнинск).

S. A. Kulikov, V. I. Prikhodko, A. V. Churakov

Development of Neutron Gas Detectors at FLNP

In recent years, at the Frank Laboratory of Neutron Physics, considerable progress has been made in the development and construction of detector systems and their further implementation at the IBR-2 reactor spectrometers. A review of these systems was published in [1]. The components of the developed detector systems include a detector itself, analog electronics, data acquisition and accumulation electronics, computer and software; i. e., they are autonomous subsystems that can be easily integrated into the instrumentation infrastructure of spectrometers and fit into any experiment automation system. A detailed description of the data acquisition and accumulation systems of the IBR-2 spectrometer complex is given in [2].

This report briefly outlines several types of neutron detectors based on multiwire proportional chambers filled with a gas mixture of $^3\text{He} + \text{CF}_4$, which were designed

both to equip newly constructed IBR-2 spectrometers (GRAINS, DN-6, RTD) and to upgrade the detector systems on the available instruments (HRFD, REMUR, REFLEX, DN-12, etc.). Among them are the following ones.

Two-dimensional monitor position-sensitive detector (PSD) with low attenuation of the incident neutron beam (100×100 mm active area, $\sim 4 \times 4$ mm coordinate resolution). The detector is used to measure neutron beam profiles on the IBR-2 beamlines.

One-dimensional PSD (200×80 mm active area, ~ 2 mm coordinate resolution, more than 60% efficiency for thermal neutrons (2 \AA)). These detectors are installed on HRFD and REFLEX spectrometers, and were also supplied to the Mikheev Institute of Metal Physics of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg), NRC “Kurchatov Institute” (Moscow)

Двухкоординатный ПЧД (размеры чувствительной области — 200×200 мм, координатное разрешение $\sim 2 \times 2,3$ мм, эффективность $\sim 65\%$). Такие детекторы установлены на спектрометрах ИБР-2 — РЕФЛЕКС, GRAINS и RTD, а также используются в составе оборудования криогенного замедлителя для контроля заполнения камеры шариками мезитилена. Мониторинг осуществляется путем получения нейтронного образа камеры замедлителя на двухкоординатном ПЧД методом «камера-обскура». Детекторы этого типа поставлены в ИЯИ (Троицк), РИЦ «Курчатовский институт», четыре детектора — в ИЯФ (Ржеж, Чехия) (рис. 1).

В указанных ПЧД сигнал с анода используется в качестве стартового импульса, а считывание координатной информации осуществляется с катодов с помощью линий задержки. Для съема и накопления данных с ПЧД в ЛНФ разработаны унифицированные про-

граммируемые блоки De-Li-DAQ-1 (созданы совместно с HZB, Берлин) и De-Li-DAQ-2D.

Многосекционный кольцевой детектор тепловых нейтронов для исследования дифракции на микрообразцах в аксиальной геометрии на дифрактометре ДН-6 [3]. Детектор состоит из 16 секций, находящихся в общем газовом объеме. Каждая из секций, в свою очередь, разделена на 6 ячеек вдоль образующей цилиндрической поверхности, общее количество измерительных каналов детектора равно 96. Сигналы с отдельных ячеек снимаются с независимых анодных нитей, которые находятся в геометрических центрах ячеек. Зарядочувствительные преусилители располагаются вблизи нитей внутри газового объема детектора. Индивидуальный съём информации с каждой ячейки обеспечивает необходимую гибкость при настройке и юстировке детектора. Детектор не имеет аналогов в

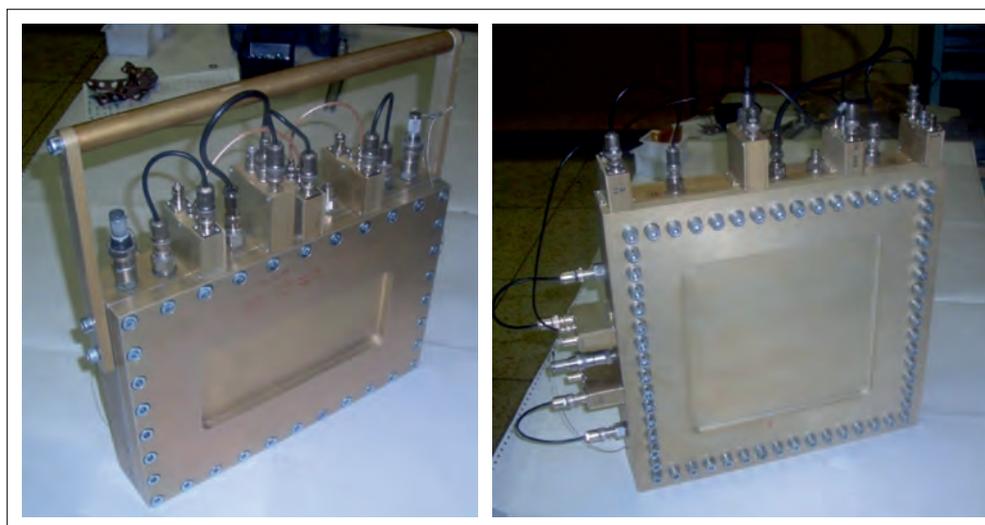


Рис. 1. Однокоординатный (слева) и двухкоординатный (справа) ПЧД

Fig. 1. One-dimensional (left) and two-dimensional PSD (right)

and the Obninsk Branch of the Karpov Institute of Physical Chemistry.

Two-dimensional PSD (200×200 mm active area, $\sim 2 \times 2.3$ mm coordinate resolution, $\sim 65\%$ efficiency). These detectors are installed on the IBR-2 spectrometers (REFLEX, GRAINS and RTD) and are also used as an equipment component of the cryogenic moderator to monitor the process of loading the moderator chamber with mesitylene pellets, which is carried out by taking neutron images of the moderator chamber by a two-dimensional PSD using a pinhole-camera technique. Detectors of this type were supplied to the Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences (Troitsk), NRC “Kurchatov Institute” and four detectors to the Nuclear Research Institute, Řež, Czech Republic. A general view of 1D and 2D detectors is shown in Fig. 1.

In these PSDs, the anode signal is used as a start pulse, and the coordinate information is read out from the cathodes using delay lines. At FLNP, for acquisition and accumulation of data from PSDs, two types of unified programmable modules were developed: De-Li-DAQ 1 (designed in cooperation with HZB, Berlin) and De-Li-DAQ 2D.

Multi-section ring-shaped thermal neutron detector for diffraction studies on microsamples in axial geometry on the DN-6 diffractometer [3]. The detector is divided into 16 sections, which share the same gas volume. Each section, in its turn, is divided into 6 cells along the cylindrical surface generator. The total number of detecting elements is 96. Signals from individual cells are read from independent anode wires, which are placed in the geometric centres of the cells. Charge-sensitive preamplifiers are located near the anode wires inside the gas volume. Individual

мире и обеспечивает одинаковую эффективность регистрации для всех детекторных элементов.

В 2018 г. на дифрактометре реального времени RTD введен в эксплуатацию новый **кольцевой секционированный детектор** (рис. 2), предназначенный для малоугловых исследований. Отличие данного детектора от известных кольцевых детекторов состоит в возможности одновременного определения угловой и радиальной координаты зарегистрированных нейтронов. Благодаря своей оригинальной конструкции детектор является подходящим инструментом для любых исследований, в которых наблюдается угловая и/или осевая анизотропия рассеяния тепловых нейтронов. Авторами предложенной конструкции А. Богдзелем, В. Милковым и Ц. Пантелеевым подана заявка на изобретение (RU 2018108597) «Газонаполненный детектор для измерения малоуглового рассеяния тепловых нейтронов».

Конструктивно детектор разделен на 9 независимых эквидистантных коаксиальных колец. Катоды

каждого из колец разделены на 16 секторов, образуя 144 независимых детекторных элемента. Съем сигналов производится с анодных нитей (общих для каждого отдельного кольца) и с каждого из 16 катодов. Для устранения влияния импульсных наводок и снижения уровня электронных шумов предусилители детекторных элементов размещены внутри газового объема.

Цифровая электроника сбора и накопления данных с описанных выше кольцевых детекторов базируется на разработанных в ЛНФ унифицированных блоках MPD и включает в себя 5 блоков 32-канальных дискриминаторов и контроллер MPD-32.

Все описанные выше детекторы по своим параметрам не уступают мировым аналогам, а по некоторым и превосходят их и достаточно широко внедрены в практику как в ЛНФ, так и в других научных центрах стран-участниц ОИЯИ. До последнего времени при изготовлении и сборке детекторов возникали определенные проблемы, связанные с малыми размерами и недостаточно высоким классом чистого производ-

Рис. 2. Кольцевой секционированный детектор на стенде



Fig. 2. The ring-shaped multi-section detector on a test bench

data readout from each cell provides the necessary flexibility for adjusting and positioning of the detector. The detector has no analogues in the world and provides the same detection efficiency for all detector elements.

In 2018, a new **ring-shaped multi-section detector** (Fig. 2) designed for small-angle neutron scattering studies was put into operation on the RTD real-time diffractometer. The difference between this detector and previous ring detectors is the possibility of simultaneous determination of angular and radial coordinates of detected neutrons. Due to its original design, the detector is a useful tool for any research where angular and/or axial anisotropy of thermal neutron scattering is observed. The authors of the proposed design A. Bogdzel, V. Milkov and Ts. Pantelev filed an application for invention (RU) 2018108597 “Gas-filled detector for small-angle thermal neutron scattering measurements”.

The detector is divided into 9 independent equidistant coaxial rings. The cathodes of each ring are divided into 16 independent sectors forming 144 independent detector elements. Signals are read from anode wires (shared by all rings) and from each of 16 cathodes. To eliminate the effect of impulse noise and reduce electronic noise, the preamplifiers of detector elements are arranged inside the gas volume.

Digital electronics for data acquisition and accumulation are based on unified MPD modules, and include 5 modules of 32-channel discriminators and an MPD32 controller.

In terms of their characteristics all the detectors described above are on a par with the world’s best analogues and in some cases even surpass them by a number of parameters. All the detectors are widely applied both at FLNP and in other scientific centres of the JINR Member States.

ственного помещения (ЧПП), однако в конце 2018 г. были завершены работы по созданию и вводу в эксплуатацию нового помещения, которое находится в корпусе № 119 ЛНФ и имеет в своем составе две чистые зоны: тамбур и рабочую зону. В тамбуре производятся монтаж и очистка деталей детекторов, там же располагается раздевалка при входе в рабочую зону. В рабочей зоне выполняются намотка и мойка электродов детекторов, а также их сборка. Общая площадь помещения составляет 44,7 м², площадь рабочей зоны 29,8 м². В помещении поддерживаются избыточное давление, постоянные температура и влажность воздуха, производятся очистка воздуха от аэрозольных частиц и удаление взвешенных частиц. Чистота воздуха в тамбуре соответствует классу 7 ИСО, в рабочей зоне — классу 6 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Основные работы по созданию ЧПП были выполнены по контракту специалистами ООО «ИТТ».

Создание ЧПП в ЛНФ позволяет значительно сократить время, необходимое для сборки нейтронных детекторов, и, что особенно важно, повысить качество сборки, а также выполнять другие виды работ, требующих особой чистоты.

Until recently, there were some problems in the manufacture and assembly of detectors, related to the small size and insufficiently high air purity class of a clean room (CR), but at the end of 2018, the activities on the creation and commissioning of CR were completed. The CR is located in FLNP bldg 119 and comprises two clean zones: an anteroom and a working area. The anteroom is used for assembling and cleaning the component parts of detectors, as well as being a dressing room for entering the working area. The working area serves for winding and washing detector electrodes, as well as for assembling detectors. The total area of the clean room is 44.7 m², and the area of the working zone is 29.8 m². The clean room maintains an excess pressure, constant temperature and humidity, and the air is filtered to remove aerosol and suspended particles. The air purity in the anteroom corresponds to ISO 7 class, in the working area — to ISO 6 class in accordance with GOST ISO 14644-1-2002.

The creation of CR allows us to significantly reduce the time required for assembling neutron detectors, and, most importantly, improve the quality of performed work.

Список литературы

1. *Belushkin A.V. et al.* The Detector Systems of the IBR-2M Spectrometers // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. V.1021. P.012021; doi:10.1088/1742-6596/1021/1/012021.
2. *Куликов С.А., Приходько В.И.* Новое поколение систем сбора и накопления данных комплекса спектрометров реактора ИБР-2 // ЭЧАЯ. 2016. Т.47, вып. 4. С.1288–1302.
3. *Белушкин А.В. и др.* Многосекционный кольцевой детектор тепловых нейтронов для исследования дифракции на микрообразцах в аксиальной геометрии // Письма в ЭЧАЯ. 2013. Т. 10, №5(182). С. 713–721.

References

1. *Belushkin A.V. et al.* The Detector Systems of the IBR-2M Spectrometers // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. V.1021. P.012021; doi:10.1088/1742-6596/1021/1/012021.
2. *Kulikov S.A., Prikhodko V.I.* New Generation of Data Acquisition and Data Storage Systems of the IBR-2 Reactor Spectrometers Complex // Phys. Part. Nucl. 2016. V.47, No.4. P.702–710.
3. *Belushkin A.V. et al.* A Multisectional Annular Thermal Neutron Detector for the Study of Diffraction on Microsamples in Axial Geometry // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V.10, No. 5. P.436–441.