

ШАХТНЫЙ КРИОСТАТ НА ОСНОВЕ GM-КРИОКУЛЕРА И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ

*А. Н. Черников*¹

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Описывается криостат с вертикальной загрузкой образца с диаметром шахты 80 мм, охлаждаемый криокулером GM-типа SRDK415D для работы в области температур 4–300 К. Этот криостат может эксплуатироваться как в вертикальном, так и в горизонтальном положении, практически не теряя финальной температуры. Представлены графики температуры камеры образца в зависимости от времени в диапазоне температур 4–150 К в вертикальном и горизонтальном положении криостата. Регулировка температуры производилась при помощи контроллера. Перед экспериментом при комнатной температуре устанавливалось давление теплообменного газа гелия в шахте величиной 25 мбар. Криостат предназначен для работы на спектрометре НЕРА реактора ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ.

A vertical loading cryostat with a shaft diameter of 80 mm based on GM cryocooler SRDK415D for operation in the temperature range of 4–300 K is described. Also, this cryostat can be operated in a horizontal position, practically without losing the final temperature. The temperature charts of the sample chamber depending on the time in the temperature range of 4–150 K in the vertical and horizontal positions of the cryostat are presented. The temperature was adjusted using the controller. Before the experiment, at room temperature, the pressure of the helium heat exchange gas was set in a shaft of 25 mbar. The cryostat is designed for operation on the NERA spectrometer of the IBR-2 reactor at the FLNP, JINR.

PACS: 07.20.Mc

ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ накоплен богатый опыт создания криостатов для установок по нейтронному рассеянию. В частности, были разработаны криостаты с вертикальной загрузкой для нейтронного дифрактометра ДИСК (КИ, Москва) [1], порошкового нейтронного дифракционного комплекса ПДК (ПИЯФ, Гатчина) [2] и криостат, представленный в работе [3], который в настоящее время используется на нейтронном спектрометре НЕРА (реактор ИБР-2, ОИЯИ, Дубна) [4]. На этих спектрометрах рассеяние нейтронов регистрируется в горизонтальной плоскости, что определяет вертикальную ориентацию криостатов. Конструкция этих криостатов позволяет осуществлять смену образца без демонтажа криостата и отогрева до температуры окружающей среды. Диапазон рабочих температур у этих криостатов составляет 6–300 К.

На дифрактометрах ДН-6 [5] и ДН-12 [6], расположенных на реакторе ИБР-2, для охлаждения образцов используются криокулеры Гиффорда–Макмагона (GM). На

¹E-mail: chern@nf.jinr.ru

этих спектрометрах рассеяние нейтронов регистрируется в вертикальной плоскости, что определяет горизонтальную ориентацию вакуумных криостатов, в которых установлены криокулеры. В этом случае смена образца осуществляется путем частичного демонтажа корпусов криостатов после отогрева до температуры окружающей среды, на что требуется не менее 12 ч. Поэтому разработка криостатов с горизонтальной шахтой является актуальной задачей, в ряде случаев это позволит уменьшить время смены образца на спектрометрах с конфигурацией детектирования, аналогичной спектрометрам ДН-6 и ДН-12, и тем самым повысить эффективность использования времени работы реактора ИБР-2.

В работе [7] экспериментально изучена работа криостата с горизонтальной загрузкой, т. е. криостата с горизонтальной шахтой.

Криостат [4] после длительной эксплуатации претерпел модернизацию, при которой криокулер на пульсационных трубках РТ405 (CRYOMECH) был заменен на криокулер GM-типа SRDK415D (SUMITOMO). Если диаметр шахты экспериментального криостата, представленного в работе [7], равнялся 35 мм, то в данной работе описывается криостат с диаметром шахты 80 мм.

Использование криокулера GM-типа позволило провести эксперимент по охлаждению модернизированного криостата, описываемого в данной работе, в горизонтальном положении.

Актуальность данной работы также обусловлена тем, что в настоящее время ведется разработка шахтного криостата со сверхпроводящим магнитом с горизонтальной загрузкой образца, в котором диаметр шахты равен также 80 мм [8, 9].

ОПИСАНИЕ КРИОСТАТА

На рис. 1 представлена схема криостата. Здесь 1 — холодная головка криокулера, расположенная на основном фланце 2. Также на этом фланце расположена голова 3 криостата с шахтой 4, внутренний диаметр которой равен 80 мм. На голове криостата расположено загрузочное устройство 5. Шахта откачивается вакуумным насосом через патрубок 6. Шахта наполняется теплообменным газом гелием также через этот патрубок. Для подавления радиационного теплопритока используется медный фланец 7. Он имеет механический тепловой контакт с первой ступенью холодной головки криокулера и с алюминиевым экраном 8. Также из алюминия изготовлен вакуумный корпус криостата 9. Вторая ступень холодной головки криокулера 10 охлаждает медный теплообменник 11 посредством медного гибкого теплового моста 12. Алюминиевая камера образца 13 имеет хороший тепловой контакт с теплообменником. Регулировка температуры камеры производится с помощью контроллера и нагревателя 14. Фото криостата и держателя образца представлены на рис. 2.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В начале эксперимента в шахту был введен держатель с образцом. Затем шахта была заполнена теплообменным газом гелием давлением 25 мбар при комнатной температуре. Криостат располагался вертикально, как на рис. 2. Далее было произведено охлаждение до конечной температуры 4,1 К, что заметно ниже, на 2 К, чем

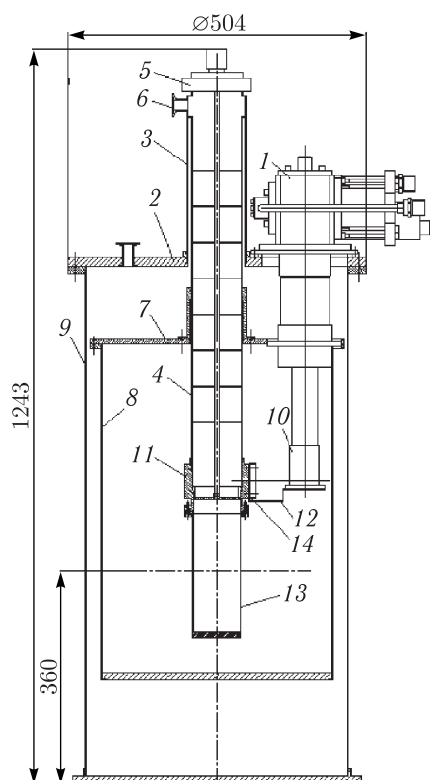


Рис. 1. Схема криостата



Рис. 2. Криостат (а), держатель с образцом (б)

ранее при работе с криокулером РТ405. Отметим, что давление теплообменного газа при этой температуре установилось примерно на уровне 1 мбар. Дальнейшие действия с криостатом отражены на рис. 3 в виде графика температуры камеры образца в зависимости от времени. В интервале времени от 0 до 10 ч температура менялась при помощи нагревателя и контроллера. Устанавливались уровни температуры 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100 и 150 К. В дальнейшем нагреватель был выключен, и температура установилась, как и первоначально, на уровне 4,1 К. Затем в интервале 26–27 ч криостат был расположен горизонтально, как показано на фото (рис. 4). Момент поворота криостата в горизонтальное положение отображен на рис. 5 на графике температуры теплообменника в зависи-

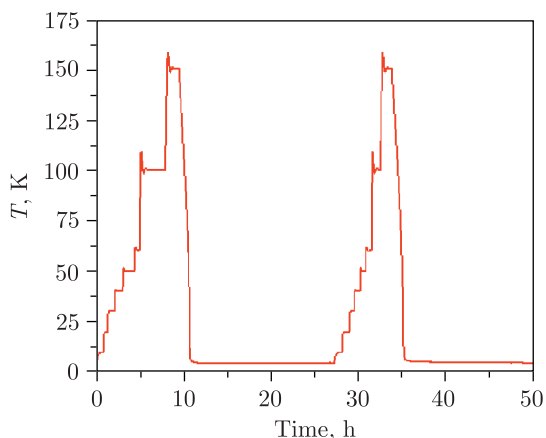


Рис. 3. Температуры камеры образца в зависимости от времени

мости от времени



Рис. 4. Горизонтальное положение криостата

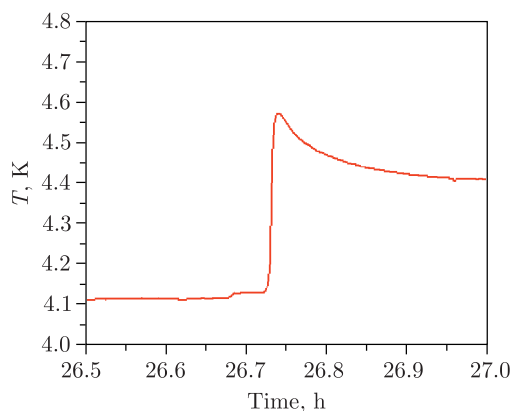


Рис. 5. Температура камеры образца при повороте криостата в горизонтальное положение

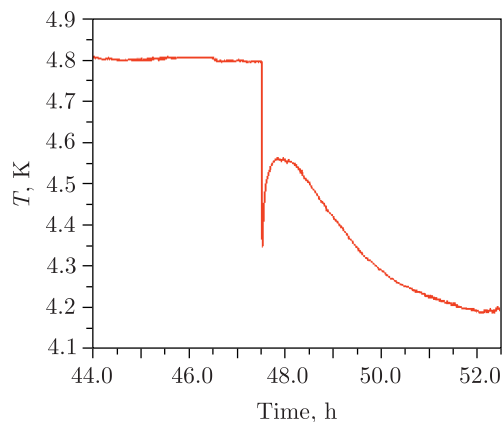


Рис. 6. Температура камеры образца в зависимости от времени при повороте криостата из горизонтального в вертикальное положение

мости от времени. После поворота криостата температура теплообменника поднялась до 4,4 К.

Дальнейшие действия с криостатом в интервале времени от 27 до 40 ч также отражены на рис. 3 в виде графика температуры камеры образца в зависимости от времени. Температура менялась при помощи нагревателя и контроллера таким же образом, как описано ранее. Устанавливались уровни температуры 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100 и 150 К. В дальнейшем нагреватель был выключен, и температура установилась на уровне 4,8 К. Затем, на отметке 48 ч, криостат был поставлен в вертикальное положение, при этом температура камеры образца составила 4,2 К. Момент поворота криостата из горизонтального положения в вертикальное отображен на рис. 6 на графике температуры камеры образца в зависимости от времени. Теплообменник нагревался при помощи нагревателя максимальной мощностью 100 Вт. Для получения

температуры камеры образца 150 К достаточно было использовать 50% мощности нагревателя. Как показала длительная в течение года эксплуатация криостата с установленной в нем холодной головкой SRDK415D на спектрометре НЕРА, температуры в диапазоне 300–150 К также обеспечиваются.

Для регулирования температуры использовался контроллер модели 336 фирмы LakeShore (США). В качестве термометров — кремниевые диоды ДТ670.

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные результаты данной работы, а также работы [7] указывают на возможность создания криостатов с горизонтальной шахтой для работы в области температур от 5 К и выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chernikov A. N., Buzdavin A. P., Zhuravlev V. V., Chol Ryom Gwang, Glazkov V. P. Shaft Cryostat on the Basis of a Pulse Tube Closed Loop Cryocooler for Cooling High-Pressure Chambers with Diamond and Sapphire Anvils // J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 2010. V. 4. P. 898–902.
2. Черников А. Н. и др. Шахтный криостат для порошковой дифракции нейтронов на основе рефрижератора замкнутого цикла для работы в диапазоне температур 6–300 К. Сообщ. ОИЯИ P8-2005-23. Дубна, 2005.
3. Budagov J., Chernikov A., Sabirov B., Sissakian A., Shirkov G., Sukhanova A., Malkov I., Perevozchikov V., Rybakov V., Zhigalov V., Basti A., Bedeschi F., Frasconi F., Linari S., Kephart R., Nagaitsev S. Leak Rate Measurements on Bimetallic Transition Samples for ILC Cryomodules. JINR Commun. E13-2008-110. Dubna, 2008.
4. Natkaniec I., Chudoba D., Hetmańczyk Ł, Kazimirov V., Krawczyk J., Sashin I., Zalewski S. Parameters of the NERA Spectrometer for Cold and Thermal Moderators of the IBR-2 Pulsed Reactor // J. Phys.: Conf. Ser. 2014. V. 554. P. 012002.
5. Kozlenko D. P., Kichanov S. E., Lukin E., Savenko B. N. The DN-6 Neutron Diffractometer for High-Pressure Research at Half a Megabar Scale // Crystals. 2018. V. 8, Iss. 8. P. 331.
6. Aksenov V. L., Balagurov A. M., Glazkov V. P., Kozlenko D. P., Naumov I. V., Savenko B. N., Sheptyakov D. V., Somenkov V. A., Bulkin A. P., Kudryashev V. A., Trounov V. A. DN-12 Time-of-Flight High-Pressure Neutron Spectrometer for Investigation of Microsamples // Physica B. 1999. V. 265. P. 258–262.
7. Chernikov A., Buzdavin A. Study of Heat Inflow Using Heat Exchange Gas in a Shaft Cryostat Based on GM Cryocooler // Phys. Part. Nucl. Lett. 2019. V. 16. P. 112–115.
8. Dobrin I., Chernikov A., Kulikov S., Buzdavin A., Culicov O., Morega A. M., Nedelcu A., Morega M., Popovici I., Dobrin A. A 4T HTS Magnetic Field Generator, Conduction Cooled, for Condensed Matter Studies by Neutron Scattering // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2016. V. 26. P. 4500404.
9. Chernikov A., Dobrin I., Kovalenko N., Kulikov S., Culicov O., Popovici I., Enache D., Dobrin A. Development of the Sample Environment System for the DN-12 Diffractometer on the IBR-2M Pulsed Reactor (Pressure – Temperature – Magnetic Field). Project Status // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. V. 1021. P. 012048.

Получено 16 октября 2019 г.