

P8-2005-41

В. Н. Трофимов, А. Н. Черников, В. Ф. Вдовин¹,
В. Г. Перминов¹, А. Н. Выставкин²

ОПТИЧЕСКИЙ КРИОСТАТ
С СОРБЦИОННЫМ РЕФРИЖЕРАТОРОМ ^3He

¹Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

²Институт радиотехники и электроники РАН, Москва

Оптический криостат с сорбционным рефрижератором ^3He

Описан оптический криостат с сорбционным рефрижератором ^3He . Рефрижератор располагается на медной плите с температурой 4,2 К в вакуумном объеме гелиевого криостата. Рефрижератор имеет две сорбционных ступени: первая с рабочим газом ^4He предназначена для конденсации ^3He , вторая с рабочим газом ^3He для получения температур до 0,3 К. Криостат является автономным прибором, так как не содержит внешних газовых коммуникаций, предназначенных для получения сверхнизких температур, а рабочий газ хранится в емкостях, сопряженных с криостатом. Конструкция рефрижератора позволяет использовать его в комбинации с криорефрижераторами типа Джиффорда–Мак-Магона или на импульсных трубах с холодопроизводительностью не менее 0,3 Вт/4 К, что позволяет полностью отказаться от использования жидких криоагентов.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005

An Optical Cryostat with ^3He Sorption Refrigerator

An optical cryostat with ^3He sorption refrigerator is described. The refrigerator is mounted on a copper plate with temperature 4.2 K in vacuum volume of a helium cryostat. It has two sorption steps: the first with working gas ^4He is intended for condensation of ^3He , the second with ^3He for cooling down to 0.3 K. The cryostat is an independent device that does not contain the external gas communications aimed at reaching low temperatures, and working gases are stored in cans integrated with the cryostat. The refrigerator can be used together with the cryocoolers of Gifford–McMahon or pulse tube types with cooling power not less than 0.3 W/4 K, thus allowing operating without any liquid cryoagents.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2005

В последние 15 лет для криостатирования объектов до температуры 0,3 К широко используются рефрижераторы с сорбционной откачкой ^3He . В частности, их преимущества в сравнении с традиционными (откачка ^3He механическими насосами) особо востребованы в наземной и космической астрономии, когда требуется охлаждение приемников излучения.

В этой работе описан оптический криостат с сорбционным рефрижератором ^3He , предназначенный для наземных лабораторных исследований различных приемников электромагнитного излучения [1].

Криостат заливного типа, схема которого приведена на рис. 1, обеспечивает на уровне моря базовую температуру 4,2 К, достаточную для конденсации ^4He . Последующая откачка ^4He сорбционным насосом обеспечивает температуру ниже критической ^3He (3,2 К), необходимую для его конденсации. Наконец, сорбционная откачка сконденсированного ^3He позволяет получить температуру до 0,24 К [2] и холодопроизводительность до 10 мкВт при 0,3 К [3]. При неизменных принципах работы конструкции рефрижераторов весьма разнообразны в зависимости от решаемой задачи. Основное отличие этого рефрижератора от предыдущего [4] заключается в том, что все его элементы расположены в вакууме, что приводит к необходимости использования дополнительного элемента — теплообменника, в котором происходит охлаждение десорбированных ^3He и ^4He от 30–40 К до базовой температуры и конденсация ^4He . В предыдущей конструкции это эффективно выполнялось в тонкостенных трубках откачки, соединяющих испарители ^3He и ^4He с соответствующими сорбционными насосами, часть которых проходила через жидкий He^4 в основной ванне. В этом рефрижераторе охлаждение происходит теплопроводностью через корпус теплообменника, прижимное соединение теплообменника и монтажной медной плиты, которая является дном гелиевой ванны, и саму плиту (рис. 1). Чтобы уменьшить

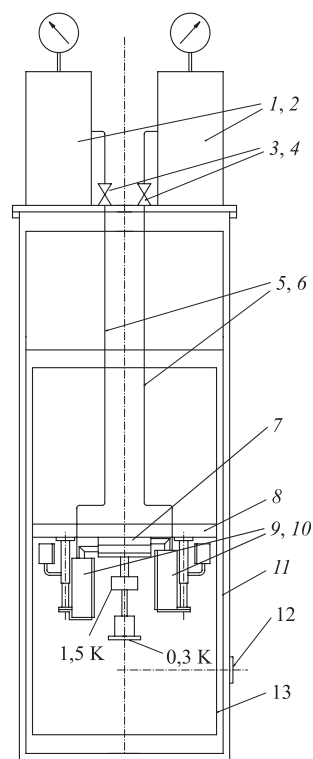


Рис. 1. Схема криостата: 1, 2 — емкости хранения рабочих газов объемом 1 л; 3, 4 — вентили; 5, 6 — соединительные трубки; 7 — теплообменник; 8 — дно гелиевого бака; 9, 10 — сорбционные насосы; 11 — азотный экран; 12 — окно; 13 — гелиевый экран

время конденсации ^4He и расход гелия из основной ванны, необходимо обеспечить как можно большую величину этой теплопроводности. Конструкция одинаковых теплообменников ^3He и ^4He , объединенных в один узел, приведена на рис. 2. Охлаждение газов происходит в концентрических кольцевых канавках сечением $\varnothing 8 \times 4$ мм, соединенных последовательно наподобие лабиринта. Для увеличения площади контакта газа со стенками в дне канавок высверлены углубления диаметром 3,5 и глубиной 6 мм. Площадь контакта составляет 80 см^2 . Соединение трех плоских медных деталей узла теплообменника между собой выполнено вакуумной пайкой припоем ПсР-72В в виде фольги толщиной 100 мкм. Теплообменник крепится к дну гелиевой ванны 16 стальными винтами М3. Соединение трубок откачки, идущих от сорбнасосов и испарителей, с теплообменником выполнено клеейкой аральдитом.

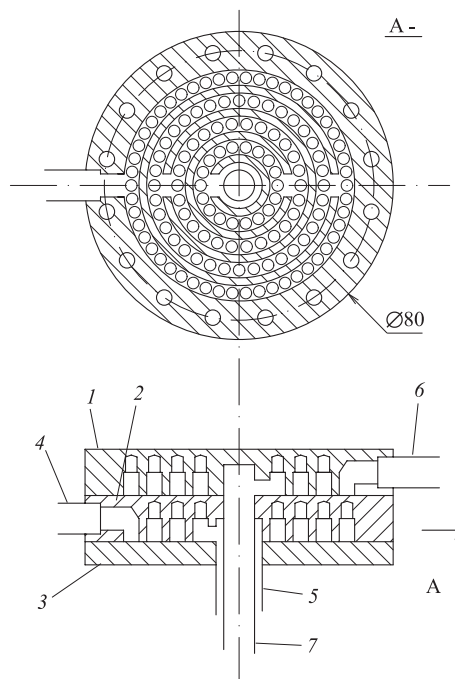


Рис. 2. Конструкция теплообменника: 1–3 — элементы теплообменника из меди; 4, 5 — трубки откачки ^4He ; 6, 7 — трубки откачки ^3He

Трубки 5, 7 (рис. 2) из нержавеющей стали имеют диаметры 12 и 8 мм и толщину стенки 0,5 и 0,3 мм соответственно. Одинаковые сорбнасосы ^3He и ^4He , 5 (рис. 3) имеют цилиндрический сварной корпус из нержавеющей стали длиной 97 и $\varnothing 45$ мм с толщиной стенки 0,5 мм (фланцы — 2 мм). Каждый насос содержит 40 г активированного угля в виде цилиндрических гранул, на-

клеенных на медные пластины толщиной 1 мм. Для уменьшения градиентов температуры по корпусу насосов он охвачен по всей длине медным хомутом толщиной 7 мм, который соединяется с газовым тепловым ключом классического типа медным холодопроводом сечением 34×4 мм. Тепловые ключи заполнялись ^4He до давления 5 атм при комнатной температуре. Отношение теплопроводностей ключей в состояниях «замкнут» и «разомкнут», измеренное при постоянной подводимой мощности 20 мВт, составило 50. Насосы снабжены электрическими нагревателями и термопарами Cu:Fe/хромель для измерения их температуры относительно основной гелиевой ванны.

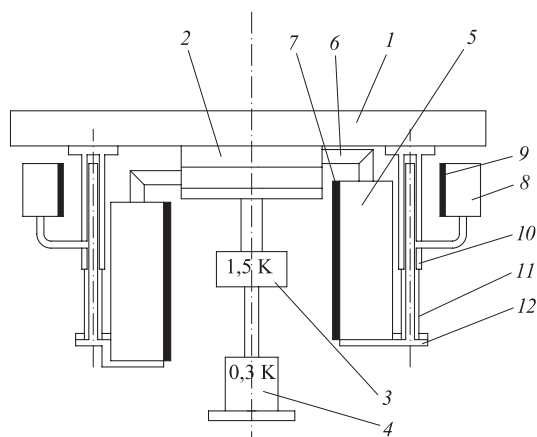


Рис. 3. Схема рефрижератора: 1 — дно гелиевого бака; 2 — теплообменник; 3 — ванночка с жидким ^4He ; 4 — ванночка с жидким ^3He ; 5 — сорбционный насос; 6 — трубка откачки $\varnothing 8 \times 0,5$; 7 — нагреватель насоса; 8 — сорбционный насос газового теплового ключа; 9 — нагреватель; 10 — медный стакан газового ключа; 11 — трубка из нержавеющей стали; 12 — медный тепловой мост

Последовательность операций при работе аналогична описанной в [4]. Количество газов в рефрижераторе составляет 6 л ^3He и 12 л ^4He при нормальных условиях, что соответствует давлению при комнатной температуре 5 и 11 атм. Буферные емкости 1, 2 (рис. 1) соединяются с рефрижератором трубками 5, 6 из нержавеющей стали $\varnothing 3 \times 0,5$ мм.

Рабочие характеристики криостата следующие:

- предварительное азотное охлаждение — 12 ч;
- гелиевое охлаждение и заливка гелия — 5 ч;
- конденсация ^4He — 3 ч;
- время достижения минимальной температуры после начала откачки ^3He — 0,5 ч;
- минимальная температура — 0,32 К;
- время удержания температуры ниже 0,35 К — 24 ч.

— время переконденсации ^3He — 3 ч.

— минимальный расход гелия из криостата при работе — 0,2 л/ч.

Недостаток криостата, выявшийся уже на стадии испытаний, — слишком малая емкость гелиевого бачка. Это приводит к необходимости частых подливок гелия. При этом во время охлаждения переливного сифона теплая струя газа часто полностью испаряет остающийся в бачке жидкий гелий, что немедленно нарушает температурный режим рефрижератора. Чтобы избежать этого, мы применили шлюзовое устройство с шаровым краном, в котором производится предварительное охлаждение сифона в поднятом состоянии и закрытом кране. После охлаждения сифона, что хорошо заметно визуально по начинающейся конденсации воздуха на поверхности трубки шлюза, кран открывается, сифон опускается в криостат и производится подливка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Выставкин А. Н.* // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. С. 806.
2. *Bhatia R. S., Chase S. T., Jones W. S. et.al.* // Cryogenics. 2002. Т. 42. С. 113.
3. *Freund M. M., Duband L., Lage A. E. et al.* // Cryogenics. 1998. Т. 38. С. 435.
4. *Трофимов В. Н., Черников А. Н.* // ПТЭ. 2003. № 4. С. 157.

Получено 31 марта 2005 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 30.06.2005.

Формат $60 \times 90/16$. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,43. Уч.-изд. л. 0,61. Тираж 220 экз. Заказ № 54946.

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

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/