

МИКРОКРИОСТАТ РАСТВОРЕНИЯ С ОХЛАЖДЕНИЕМ РЕФРИЖЕРАТОРОМ С ИМПУЛЬСНОЙ ТРУБОЙ

© 2013 г. В. С. Эдельман, Г. В. Якопов*

*Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН
Россия, 117321, Москва, ул. Косыгина, 2*

**Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия,
Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский р-н, пос. Нижний Архыз*

Поступила в редакцию 18.02.2013 г.

Микрокриостат растворения предназначен для проведения физических измерений при температурах до 0.1 К и ниже. Для обеспечения его работы используется рефрижератор с импульсной трубой. Благодаря использованию системы пассивной стабилизации, основанной на конденсации гелия, возможно поддержание температуры на уровне 0.1 К в течение 5 ч при неработающем рефрижераторе. Микрокриостат используется для изучения низкотемпературных приемников излучения.

DOI: 10.7868/S0032816213050145

В последние годы стали популярными рефрижераторы на основе импульсной трубы (и.т.), позволяющие получать температуры до уровня ~2.5 К. Несмотря на значительные эксплуатационные расходы, связанные с большим, по сравнению с классическими гелиевыми ожижителями, удельным потреблением энергии на достижение заданной производительности охлаждения, они обладают рядом неоспоримых достоинств. Эти машины довольно компактны, не требуют расхода большого количества гелия, что особенно накладно для небольших лабораторий, не имеющих сети сбора испаряющегося гелия, просты в обслуживании и довольно надежны. Особенно удобно использовать их в труднодоступных местах, например в астрономических обсерваториях. На рынке предлагается много установок, собранных на базе таких рефрижераторов, в том числе криостаты растворения. Однако они имеют ряд недостатков, и в первую очередь, высокий уровень механических вибраций в полосе частот, начинающейся от единиц герца, которые особенно трудно подавлять. Уменьшение влияния вибраций на измерительные системы в криостатах с и.т. достигается использованием весьма сложных антивибрационных систем: как пассивных [1, 2], так и активных [3]. Значителен уровень пульсаций температуры, достигающий нескольких процентов. Высок акустический шум при их работе, что создает дискомфорт для персонала. Хотелось бы останавливать их работу на время проведения эксперимента, однако низкотемпературная ступень отогревается за минуты, и требуется пассивная система стабилизации температуры, которая реально осуществима при условии, что тепловая нагрузка на нее мала. Поэтому представлялось заманчивым совместить

и.т. с микрокриостатом растворения, использующим встроенные сорберы, обеспечивающие его функционирование [4]. Недавно опубликовано применение криосорбционной откачки в криостате растворения, совмещенном с и.т., позволившее получить безвибрационное функционирование устройства в течение 3 ч при 87 мК [5]. Значительное потребление энергии (порядка долей ватта) в таких микрокриостатах происходит на начальной стадии их работы – при десорбции и ожижении рабочих газов. Однако после выхода на рабочий режим потребление падает до нескольких милливольт. Используя этот новый подход, удалось создать описываемую ниже установку, в которой и.т. функционирует пару часов, обеспечивая запуск микрокриостата и набор запаса “холода” в пассивном стабилизаторе, после чего и.т. можно выключить и в течение 4–5 ч вести высокочувствительные измерения при температуре образца 0.07–0.1 К или выше.

Собственно криостат растворения полностью аналогичен описанному в [4] и собран из дубликатов деталей этого микрокриостата. Его характеристики, в принципе, те же самые, что и у прототипа. Циркуляция ^3He достигается конденсацией его паров, поступающих из испарителя в камеру с температурой 0.4–0.5 К, охлаждаемую жидким ^3He в отдельной ванне, откуда конденсат стекает через теплообменник в миксер и попадает в легкую фазу расслоившейся смеси ^3He – ^4He . Переходя границу тяжелой фазы, что сопровождается поглощением тепла, ^3He диффундирует в испаритель, и цикл замыкается. Для охлаждения ванны с ^3He используется его откачка сорбционным насосом. Для обратной конденсации ^3He и его предва-

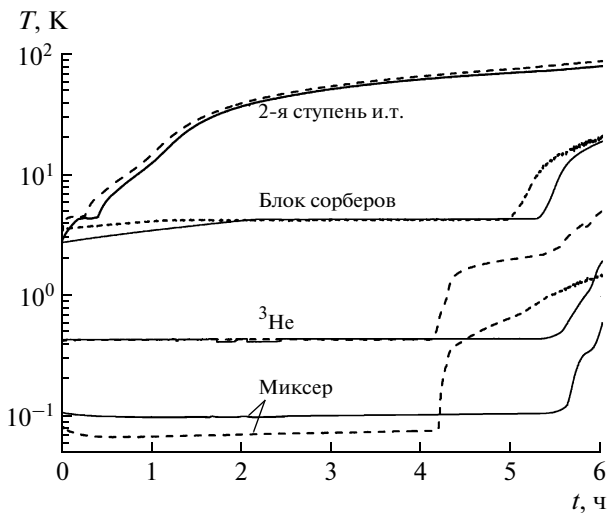


Рис. 1. Изменение во времени от момента остановки работы и.т. температур: миксера, ванны ^3He , блока сорберов и 2-ой ступени и.т. В опыте 22.01.2013 (сплошные линии) к испарителю подводилась мощность 0.08 мВт, 21.02.2013 (штриховые) — 0.13 мВт. Соответственно во втором случае циркуляция ^3He была выше, а температура миксера ниже при меньшем времени поддержания низкой температуры. Небольшое различие времени поддержания температуры сорберов обусловлено различием их температур в момент остановки и.т.

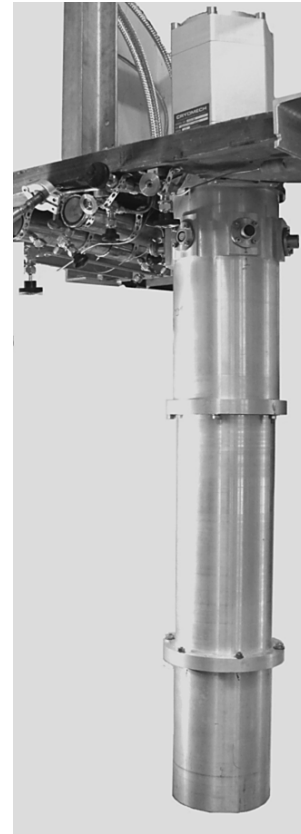


Рис. 2. Внешний вид прибора.

рительного охлаждения до 1 К служит ванна, заполняемая ^4He и откачиваемая вторым сорбционным насосом. Охлаждение насосов обеспечивается их тепловым контактом со второй ступенью и.т.-рефрижератора, который устанавливается автоматически во время его работы. Использован и.т.-рефрижератор производства фирмы Sturtech, Inc. (Syracuse, NY 13211, USA). Производительность рефрижератора 0.7 Вт при 4 К, минимальная температура ~ 2.5 К.

Все узлы, охлаждаемые до 1 К и ниже, хорошо теплоизолированы. Поэтому для предварительного их охлаждения от комнатной температуры используются управляемые магнитные прижимы [6], позволяющие снизить время остывания охлаждаемых узлов от нескольких суток до нескольких часов. Хорошая теплоизоляция миксера позволяет, в принципе, проводить измерения в диапазоне от <0.1 до 300 К, манипулируя состоянием магнитных прижимов, включая и выключая и.т., а также регулируя температуру миксера электронатгревателем.

Благодаря тому, что тепловая нагрузка на блок сорберов при работе микрокриостата составляет всего 3–4 мВт, система пассивной стабилизации, основанная на конденсации гелия [7] из локальной сети (или из баллона) в ванну объемом 125 см^3 , обеспечивала после выключения и.т. температурный режим работы сорберов до 5 ч. Соответствен-

но в течение этого времени может поддерживаться и температура миксера и связанного с ним держателя исследуемых образцов на уровне 0.1 К (рис. 1). Тем самым в процессе этого цикла работы микрокриостата радикально устраняются вибрационная помеха и значительный шум, производимый и.т., и создаются как предпосылки для достижения высокой чувствительности измерений, так и комфортные условия в лаборатории.

Микрокриостат растворения и охлаждаемые части и.т. размещены в общем вакуумируемом объеме, уплотняемом разборной обечайкой с кольцевыми резиновыми уплотнениями. Снятие обечайки и системы экранов и их обратная установка занимают 5–10 мин, что позволяет оперативно менять образцы. Рабочие газы после отогрева прибора хранятся в контейнерах объемом 0.3–0.15 л под давлением 10–20 ата.

Мониторинг работы криостата автоматизирован. Управлять его работой можно как оператору, так и в автоматическом режиме.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИБОРА

- Минимальная температура держателя образцов 0.07 К.

- Холодопроизводительность при 0.1 К порядка 1–3 мкВт.
 - Время охлаждения до 0.1 К (от начала откачки ^3He) 30–40 мин.
 - Время регенерации сорберов, конденсации и охлаждения ^3He до 1 К порядка 1 ч.
 - Время поддержания температуры ≤ 1 К зависит от мощности, рассеиваемой в испарителе, и достигает 5 ч.
 - Время поддержания рабочих условий при выключенной и.т. ~ 5 ч.
 - Время восстановления исходных условий после повторного включения и.т. ~ 2 ч.
 - Время охлаждения при первом пуске и.т. от комнатной температуры до 0.1 К 10–12 ч.
 - Количество используемых газов: 4.5 нормальных литров (н.л.) ^4He ; 3 н.л. ^3He ; 1 н.л. смеси 30% ^3He + 70% ^4He .
- Потребляемая мощность от трехфазной сети и расход воды при работе и.т. согласно паспорту

производителя 6–8 кВт и 8–10 л/мин соответственно.

Внешний вид прибора (без компрессора и подводящих труб и.т.) показан на рис. 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pelliccione M., Sciambi A., Bartel J. et al.* // Rev. Sci. Instrum. 2013. V. 84. P. 033703.
2. *Ikushima Y., Li R., Tomaru T. et al.* // Cryogenics. 2008. V. 48. P. 406.
3. *Caparrelli S., Majorana E., Moscatelli V. et al.* // Rev. Sci. Instrum. 2006. V. 77. P. 095102.
4. *Эдельман В.С.* // ПТЭ. 2009. № 2. С. 159.
5. *Melhuish S.J., Martinis L., Piccirillo L.* // Cryogenics. 2013; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cryogenics.2013.03.002>
6. *Эдельман В.С.* // ПТЭ. 2012. № 6. С. 117.
7. *Wang C.* // Cryogenics. 2001. V. 41. № 7. P. 491.