

P8-2003-9

В. Н. Трофимов, А. Н. Черников

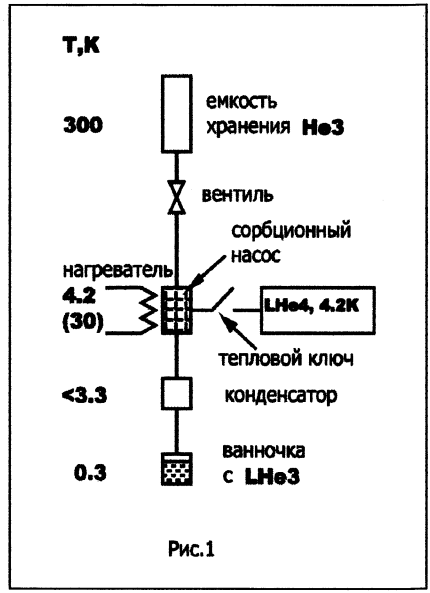
**АВТОНОМНЫЙ СОРБЦИОННЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР
ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ 0,3 К**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Простейшим способом получения низких температур является откачка паров над жидкостью соответствующего криоагента. Так, температуру до 1 К получают откачкой ^4He , а до 0,3 К откачкой ^3He . Обычно для этого используются механические насосы, имеющие большие габариты, массу и энергопотребление. При этом возникает необходимость в газовых коммуникациях, емкостях для сбора и хранения хладагента и их полной герметичности, по крайней мере, в случае использования ^3He , ввиду его большой стоимости. Поэтому криостат оказывается привязанным к стационарному криогенному обеспечению. Эти обстоятельства делали измерения при таких температурах малодоступными для экспериментаторов, хотя они являются важной частью во многих областях физики и техники. Обычно при необходимости использования субгелиевых температур проблема решалась поиском соответствующей криогенной лаборатории, где такие измерения можно было бы провести. Таким образом, всегда существовала потребность в автономных, простых в использовании субгелиевых рефрижераторах, доступных для всех экспериментаторов, имеющих минимальную “криогенную” квалификацию. Принципиальную возможность этого дает использование криосорбционной откачки жидкого гелия. Решающий импульс для практической реализации такой возможности дала потребность астрономии в охлаждаемых приемниках электромагнитного излучения, устанавливаемых в высокогорных обсерваториях, стратосферных зондах и космических аппаратах [1]. Очевидно, что в этих случаях масса и энергопотребление рефрижератора имеют критическое значение. За последнее десятилетие прогресс в конструировании сорбционных рефрижераторов ^3He весьма впечатляющ. Минимальная

достигнутая температура составляет 0,234 К [2], а время удержания рабочей температуры – 2 недели [3].

На рис.1 изображена функциональная схема рефрижератора ^3He с сорбционной откачкой. Элементы сорбционный насос, конденсатор и ванночка ^3He находятся в вакууме и, следовательно, в тепловом отношении изолированы от основной ванны ^4He в криостате, имеющей базовую температуру 4,2 К (при атмосферном давлении на уровне моря). Рабочий цикл начинается с охлаждения перечисленных элементов до 4,2 К. Вентиль при этом открыт, и весь имеющийся в системе ^3He абсорбируется в насосе, затем вентиль закрывается. В качестве абсорберов используются активированные угли или цеолиты. Поскольку критическая температура ^3He



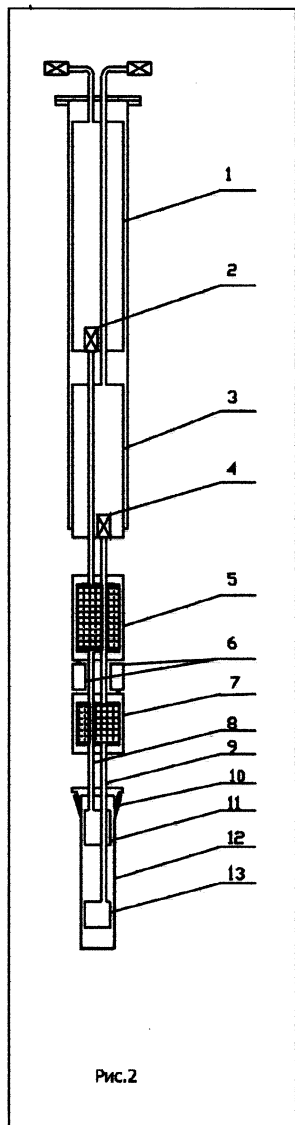
составляет 3,3 К, то базовая температура 4,2 К слишком высока для того, чтобы обеспечить конденсацию ^3He . Обычно температуру конденсатора ниже 3,3 К получают используя откачку вспомогательной ванночки с ^4He . При использовании для этого внешнего механического насоса во многом теряются преимущества сорбционного рефрижератора и поэтому логично добавить в конструкцию второй сорбционный насос и емкость хранения ^4He со своим вентиляем. Получается двухступенчатый рефрижератор. Емкости хранения ^3He и ^4He (вместе с вентилями) не являются обязательными элементами. Весь запас газов может храниться в объеме насосов, ванночек и соединительных линий. Давление при комнатной

температуре в этом случае может достигать сотни бар и все элементы и соединения должны быть выполнены с учетом этого. После охлаждения всех элементов двухступенчатого рефрижератора до базовой температуры сначала производится конденсация ^4He . Для этого при разомкнутом тепловом ключе насоса ^4He , включается нагреватель, поднимающий температуру насоса примерно до 40 К. При этой температуре происходит практически полная десорбция гелия, и давление поднимается выше атмосферного, так что начинается конденсация ^4He в элементах, имеющих базовую температуру (критическая температура ^4He равна 5,2 К), и конденсатор ^4He заполняется жидким гелием. После этого нагреватель выключается, замыкается тепловой ключ, и насос быстро охлаждается, откачивая конденсатор ^4He и понижая температуру связанного с ним тепловым образом конденсатора ^3He до 1 К или ниже. После этого аналогичным образом производится конденсация ^3He . При охлаждении насоса ^3He с помощью соответствующего теплового ключа температура ванночки ^3He быстро достигает минимума, и начинается измерительная часть цикла. Регулировка температуры от минимальной до критической легко осуществляется нагревателем насоса, задающим скорость откачки. В более широком диапазоне регулировка температуры образца (устройства) может осуществляться активным терморегулятором при слабой тепловой связи образца с ванночкой ^3He . Следует отметить, что откачка ^4He необходима лишь для конденсации ^3He и в измерительной части цикла ванночка ^4He обычно пуста. Конструкция рефрижератора является весьма гибкой и, как правило, определяется конкретной задачей, в которой предполагается его использовать. Тем не менее, по крайней мере, две фирмы (Janis Research Company и Oxford Instruments) предлагают сорбционные рефрижераторы ^3He универсального назначения для

лабораторных измерений. Дальнейшим логическим шагом в упрощении использования субгелиевых температур в наземных условиях является отказ от использования жидких гелия и азота для задания базовых температур и применение для этого механических рефрижераторов. В качестве последних долгое время служили рефрижераторы Джиффорда – Мак-Магона, которые сейчас активно вытесняются рефрижераторами на импульсных тепловых трубах, вообще не имеющих никаких движущихся механических деталей в криогенной части. На рынке криогенного оборудования уже появились такие комбинированные системы не только с сорбционными рефрижераторами ^3He , но и с рефрижераторами растворения ^3He - ^4He .

На основе изложенных принципов нами был сконструирован двухступенчатый сорбционный рефрижератор ^3He , схема которого приведена на рис.2. Устройство разработано под конкретный криостат со сверхпроводящим магнитом, поэтому выполнено в виде погружной вставки диаметром 80 мм и длиной 1700 мм. Диаметр и длина (37 и 190 мм соответственно) вакуумной камеры, в которой размещаются ванночки ^3He , ^4He и рабочий объем для образцов, определялись размерами магнита. Вставка содержит два бачка 1 и 3 для хранения ^4He и ^3He соответственно. Объемы, занимаемые этими газами, 2,5 и 1,7л. Вставка заряжается криоагентами в холодном состоянии при 4,2 К до насыщения насосов, что требует около 13 л ^3He при н.у. Вентили 2 и 4 позволяют увеличить коэффициент использования криоагентов. После поглощения всего газа насосами при охлаждении вставки они закрываются и исключают, таким образом, балластные объемы 1 и 3 при конденсации. Сорбционные насосы для ^4He (5) и ^3He (7) выполнены одинаково в виде двух соосных сварных цилиндров из нержавеющей стали, внутренний из которых заполнен

активированным углем. Электрические проволочные нагреватели намотаны поверх цилиндров с углем, а их температура измеряется термопарами Cu:Fe/хромель относительно наружного корпуса.



Пространство между корпусами соединяется через трубку диаметром 4 мм с газовым тепловым ключом 6, откачивается при комнатной температуре и заполняется небольшим количеством теплообменного ^4He . Устройство газового теплового ключа аналогично устройству насоса. В замкнутом состоянии ключа его нагреватель поддерживает уголь при температуре 30 – 40 К и десорбированный гелий заполняет зазоры между внутренним и внешним корпусами насоса, создавая между ними хороший тепловой контакт. В разомкнутом состоянии при выключенном нагревателе теплообменный газ сорбируется углем ключа. Кроме газового ключа, возможно использование еще по меньшей мере трех типов тепловых ключей. Трубки откачки гелия 8 и 9 проходят через жидкий гелий при 4,2 К. Поэтому конденсация ^4He происходит на стенках трубки 8, и жидкий ^4He стекает в ванночку 11. Конденсация ^3He происходит на стенках трубки 9 внутри ванночки 11, и жидкий ^3He заполняет ванночку 13. Обе ванночки имеют цилиндрическую форму и изготовлены из нержавеющей

стали, однако в дно ванночки ^3He впаян серебряным припоем медный держатель для крепления образцов, имеющий хороший тепловой контакт с жидким ^3He внутри ванночки. Температура ванночек измеряется термометрами сопротивления RuO_2 . Вакуумированная рабочая часть вставки образована цилиндрическим стаканом 12 из нержавеющей стали и коническим уплотнением 10. После конденсации ^3He и начала откачки минимальная температура достигается примерно через 10 минут и поддерживается в течение 24 часов при нулевой тепловой нагрузке. После этого цикл может быть повторен. Время переконденсации составляет 30 минут, что равно лучшему значению этого показателя из опубликованных характеристик. При наличии ^4He в криостате работа рефрижератора может продолжаться неограниченно долго.

ЛИТЕРАТУРА

1. Collaudin B., Rando N. Cryogenics in space: a review of the missions and of the technologies. *Cryogenics* (2000), **40**, 797.
2. Bhatia R.S., Chase S.T., Edgington S.F., et al. A three-stage sorption refrigerator for cooling of infrared detectors to 280 mK. *Cryogenics* (2000), **40**, 685.
3. Masi S., Aquilini E., Cardoni P., et al. A self-contained ^3He refrigerator suitable for long duration balloon experiments. *Cryogenics* (1998), **38**, 319.

Получено 20 января 2003 г.

Трофимов В. Н., Черников А. Н.

P8-2003-9

Автономный сорбционный рефрижератор для работы при 0,3 К

Приводится описание конструкции и принципа работы двухступенчатого рефрижератора с сорбционной откачкой ^4He и ^3He , не требующего подключения внешних насосов и газовых коммуникаций. Рефрижератор выполнен в виде вставки диаметром 80 мм, погружаемой в гелиевый криостат (дьюар), и обеспечивает температуру 0,31 К в течение 24 ч после конденсации ^3He при тепловой нагрузке 10 мкВт. Время реконденсации составляет 0,5 ч.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка и в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2003

Перевод авторов

Trofimov V. N., Chernikov A. N.

P8-2003-9

Autonomous Sorption Refrigerator for Cooling to 0.3 K

We describe the design and performance of a double stage ^4He - ^3He refrigerator which doesn't need any external pumping and gas communications. The fridge is done as an insert with a diameter of 80 mm immersed into helium cryostat. The hold time is 24 h at 0.31 K and heat load of 10 μW . The recycling time is 0.5 h.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics and at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2003

**Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой***

Подписано в печать 31.01.2003.

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

Усл. печ. л. 0,37. Уч.-изд. л. 0,45. Тираж 220 экз. Заказ № 53737.

**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/