

ПОЛУЧЕНИЕ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР АДИАБАТИЧЕСКИМ РАСШИРЕНИЕМ ^3He ИЗ СОСУДА ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА

В.Ф. Троицкий, А.Б. Фрадков

Исследовано получение температур ниже 1 К откачкой ^3He , ожижаемого методом адиабатического расширения из сосуда постоянного объема. Использование такого метода в сочетании с откачкой жидкого ^3He адсорбционным насосом позволило создать автономный портативный рефрижератор с холодопроизводительностью 40 мкВт при $T = 0,36$ К. Габаритные размеры 230 X 500 мм², масса 9 кг.

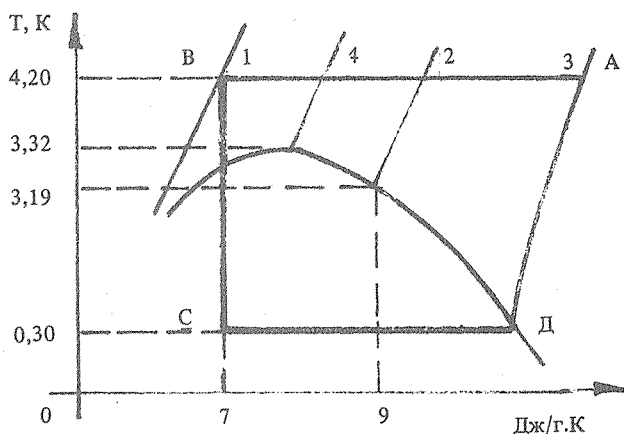
Температуры ниже 1 К, называемые обычно сверхнизкими и используемые до последнего времени преимущественно в физических исследованиях, начинают применяться и для практических целей. Например, охлаждение приемников инфракрасного излучения до 0,3 К позволяет увеличить их чувствительность более чем в 50 раз по сравнению с чувствительностью при температуре 1,5 – 2 К /1/. Для практических целей желательно, чтобы рефрижератор сверхнизких температур был малогабаритным и легким.

Наиболее рациональным способом получения температур от 1 до 0,3 К является метод откачки паров жидкого ^3He . Поэтому все современные рефрижераторы на ^3He состоят из двух систем: ожижения ^3He и откачки паров сжиженного ^3He /2/. Ожижение ^3He проводится, как правило, с помощью жидкого ^4He , кипящего под пониженным давлением (0,5 – 1,0 Па), создаваемым механическим вакуум-насосом. Это вызвано тем, что при атмосферном давлении температура конденсации ^3He , равная 3,19 К, более чем на градус ниже температуры кипения жидкого ^4He . Таким образом, в установку для получения температур ниже 1 К обычно входят два вакуум-насоса – один для вакуумировки жидкого ^4He и второй – для ожиженного ^3He . Чтобы избавиться от необходимости откачивать жидкий ^4He , предложено использовать для ожижения ^3He эффект охлаждения, получаемый при адиабатическом расширении ^3He из сосуда постоянного объема /3/. Это позволяет упростить установку до одного насоса для откачки паров жидкого ^3He .

Из термодинамических свойств ^3He следует, что для его ожижения методом адиабатического расширения требуется давление порядка 0,5 МПа, если сосуд с газообразным ^3He будет предварительно охлажден до 4,2 – 4,5 К /4/. Для сжатия ^3He до таких давлений предлагается использовать процесс десорбции в адсорбционном насосе, который применяется для откачки паров ожиженного ^3He .

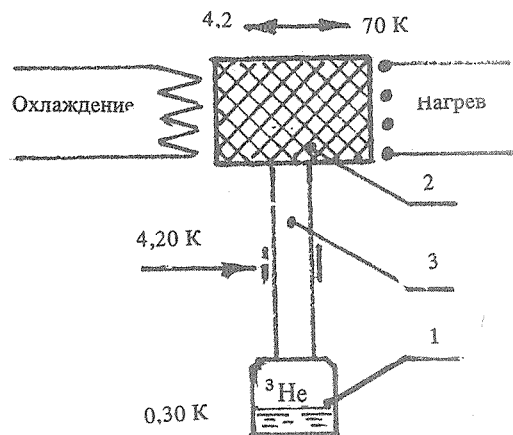
На рис. 1 показана принципиальная схема такого рефрижератора, а на рис. 2 приведена диаграмма S–T соответствующих процессов. Рефрижератор состоит из рабочей камеры 1 (на ней монтируется охлаждаемый объект) и адсорбционного насоса 2, соединенного с камерой трубкой 3. Эта система заполнена ^3He в таком количестве, что при адсорбции оно полностью поглощается насосом. Для проведения адсорбции насос охлаждается парами жидкого ^4He , кипящего под атмосферным давлением в отдельной емкости (на рис. 1 не показана). По окончании процесса адсорбции охлаждение насоса прекращается и начинается процесс десорбции с созданием в рабочей камере давления, необходимого для последующего процесса расширения. Для этого служит электронагреватель, с помощью которого температура адсорбента в насосе повышается до 60 – 70 К и десорбируемый ^3He переходит в рабочую камеру через соединительную трубу 3. При этом десорбируемый из насоса ^3He охлаждается до 4,2 К, для чего середина трубы 3 имеет тепловой контакт с жидким ^4He . К концу десорбции давление в системе достигает 0,5 МПа и основное количество ^3He находится под этим давлением в рабочей камере 1, охлажденной до 4,2 К. На диаграмме S–T (рис. 2) процесс сжатия и охлаждения десорбируемого газа показан линией А–Б.

Когда весь поглощенный насосом ^3He десорбирован, электронагреватель выключается и включается охлаждение адсорбционного насоса. Давление в нем начинает падать, а сжатый в рабочей камере ^3He начинает расширяться в насос; при этом существенная часть ^3He переходит в жидкое состояние (линия



Р и с. 2. S-T диаграмма цикла: 1 – изобара $P = 0,5$ МПа; 2 – изобара $P = 0,1$ МПа; 3 – изобара $P = 0,2$ Па; 4 – пограничная кривая жидкостно-пар. А – В – сжатие десорбированного газа; В – С – адиабатическое расширение; С – Д – испарение жидкого ^3He ; Д – А – нагрев газа в камере.

Р и с. 1. Принципиальная схема рефрижератора: 1 – камера ^3He ; 2 – адсорбционный насос; 3 – соединительная труба.



В–С на рис. 2). Температура жидкости в рабочей камере устанавливается в соответствии с глубиной вакуума, создаваемого адсорбционным насосом. Для получения 0,3 К требуется давление 0,2 Па. При достаточной адсорбционной емкости насоса нужное давление поддерживается до тех пор, пока весь жидкий ^3He не испарится, после чего описанные выше процессы повторяются.

Устройство рефрижератора, работающего по такой схеме, описано в [5]. На опытном образце получены следующие технические характеристики: холодопроизводительность ~ 40 мкВт при $T = 0,36$ К, длительность цикла $\sim 9,5$ час, в том числе подготовительное время (десорбция) ~ 30 мин, рабочее время ~ 9 час. Расход жидкого ^4He – 0,15 л/час или 1,5 литра за 1 цикл. Габаритные размеры рефрижератора 230×500 мм², масса – 9 кг.

Предложенный метод может быть применен и для получения более высоких криогенных температур путем использования других рабочих веществ. При замене ^3He на ^4He в описанном рефрижераторе была получена температура 0,7 К. При этом время поддержания температуры было 3 часа – т. е. существенно ниже, чем с ^3He , из-за сверхтекучей пленки ^4He , вытекавшей из рабочей камеры. В случае применения вместо ^3He жидкого азота, кипящего под атмосферным давлением, и вместо ^3He – газообразного азота в рабочей камере была получена температура 38 К в соответствии с величиной вакуума в системе (~ 1 Па).

ЛИТЕРАТУРА

1. Radostitz J. V. et al. Rev. Sci. Instr., 49, № 1, 86 (1978).
2. Лоунасмаа О. В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К. М., Мир, 1977.
3. Троицкий В. Ф., Фрадков А. Б., Лукашин В. М. Авторское свидетельство № 1096443. Бюллетень изобретений и открытий, № 21, 113 (1984).
4. Daunt J. G. Cryogenics, 10, № 6, 473 (1970).
5. Троицкий В. Ф., Фрадков А. Б. ПТЭ, № 2, 210 (1984).

Поступила в редакцию 2 января 1986 г.