

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КРИОТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ ГЕЛИИ

В.А. Рахубовский

*Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт",
г. Харьков, Украина*

Представлены результаты исследований работы криотронного генератора релаксационных колебаний (КГРК) в переохлажденном гелии. Описаны процессы, протекающие в гелии при его отогреве, и отмечены особенности в работе КГРК. Измерены времена восстановления температуры гелия и частоты КГРК при различных величинах переохлаждения гелия.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения температурного режима работы низкотемпературных сверхпроводящих устройств [1,2] в качестве теплоотводящего агента используется жидкий гелий. Требуемая температура гелия достигается путем понижения давления пара над его поверхностью. Конвекционные потоки поддерживают равновесие в массе жидкости, и давление пара над поверхностью (с поправкой на гидростатическое давление) является мерой температуры жидкого гелия [3]. В случае, когда гелий отогревается после охлаждения, то возникает ситуация, при которой прилегающие к поверхности слои будут теплее, чем жидкость на глубине [4], т.е. гелий будет находиться в переохлажденном состоянии, так как температура жидкого гелия ниже той температуры, которая соответствует давлению паров над его поверхностью в данный момент. При исследовании сверхпроводящих устройств приходится иметь дело с переохлажденным гелием, когда по тем или иным причинам установленная температура гелия ниже той, при которой должен проводиться эксперимент. В этом случае гелий либо надо подогреть, используя специальный нагреватель, установленный вблизи дна дьюара, либо подождать пока он нагреется и закипит под действием внешнего теплопритока. Поэтому при эксплуатации сверхпроводящих устройств необходимо учитывать процессы, которые протекают в жидком гелии и влияют на работу таких устройств.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения данных о времени и характере отогрева переохлажденного гелия снималась зависимость частоты криотронного генератора релаксационных колебаний (КГРК) [5] от времени, в течение которого происходит нагрев гелия в данном температурном интервале.

Частота КГРК (при постоянном токе питания и постоянном внешнем магнитном поле) является только функцией температуры вентиля криотронов, которая зависит от температуры гелия и интенсивности теплоотдачи на границе вентиль-гелий. Последняя определяется, в частности, интенсивно-

стью кипения гелия [6]. Малые габариты, хорошая теплопроводность и малая теплоемкость материала вентиля криотронов дают возможность практически мгновенно устанавливать тепловое равновесие между КГРК и гелиевой ванной, что позволяет использовать его в устройствах, предназначенных для быстрого измерения температуры. Кроме того, КГРК свои показания в зависимости от температуры непосредственно преобразует в частоту, что позволяет измерять температуру более точно, чем в случае измерения ее по изменению какой-либо другой физической величины. Эксперимент проводится следующим образом. Вначале опыта устанавливаются: давление паров над поверхностью гелия P_0 ; температура кипящего гелия T_0 ; частота КГРК f_0 . Затем понижается давление паров до значения P_1 , при котором температура гелия и частота КГРК устанавливается соответственно T_1 и f_1 . После этого резко прекращается откачка паров гелия и давление быстро (за 5...10 с) восстанавливается до начального значения P_0 и восстанавливается вблизи поверхности начальная температура гелия T_0 . Визуальное наблюдение за поведением гелия позволяет отметить, что в точке 1 (рис.1) резко прекращается кипение гелия и возрастает частота КГРК. Это увеличение частоты происходит в течение 5...10 с и можно считать, что за такое малое время температура гелия вблизи КГРК остается постоянной и равной T_1 . Поэтому увеличение частоты вызывается только повышением температуры КГРК из-за изменения интенсивности отвода тепла от вентиля криотронов при переходе кипящего гелия в некипящий. При этом величина переохлаждения гелия $\Delta T = T_1 - T_0$. Конечность времени нарастания частоты генератора на участках 1-2 объясняется тем, что хотя кипение и прекратилось, движение слоев гелия затухает не сразу, а примерно в течение 5...10 с после момента прекращения кипения гелия. В точке 2 это движение полностью прекращается, и остаются только конвективные потоки, обусловленные движением слоев с разной плотностью. На участках 2-4 гелий не кипит, и рост частоты обусловлен только повышением температуры гелия за счет тепла, подводимого в гелий

извне и от КГРК. В точке 3 начинают образовываться пузырьки паров гелия в области вентилей криотронов. Теплоотвод от последних улучшается, и частота КГРК, начиная с этого момента, нарастает с меньшей скоростью. В точке 4 частота, достигнув максимального значения, начинает уменьшаться. Это соответствует началу кипения гелия со дна дьюара, которое является определяющим в процессе восстановления температуры T_0 по всему объему жидкости. На участках 4-5 происходит нарастание интенсивности кипения гелия. В точке 5 гелий имеет не только начальную температуру, но и начальную интенсивность кипения, и частота КГРК достигает установившегося значения f_y , приближающегося к f_0 .

Аналогичные зависимости $f = f(t)$ были получены и для других величин ΔT .

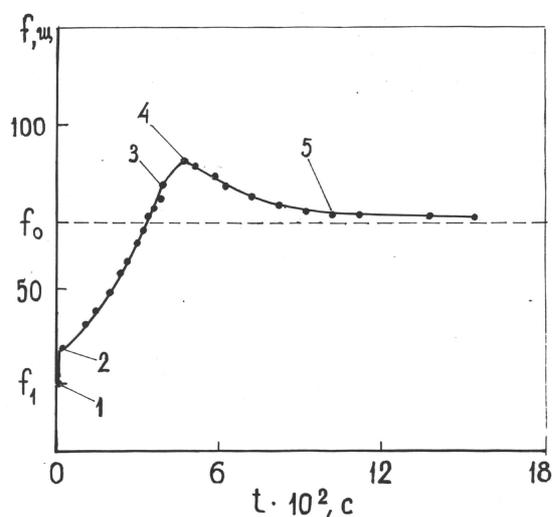


Рис. 1. Зависимость частоты КГРК от времени отогрева гелия при: $T_0 = 3,678 \text{ K}$; $f_0 = 70 \text{ Гц}$; $I_n = 0,17 \text{ A}$; $\Delta T = -33 \cdot 10^{-3} \text{ K}$; величине внешнего теплопритока в дьюар $\sim 0,25 \text{ Вт}$; высоте столба гелия над КГРК $\sim 0,3 \text{ м}$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные исследования показали, что в процессе отогрева гелия от температуры T_1 до T_0 вначале происходит восстановление температуры T_0 (см. рис.1, точка 4), а затем через некоторое время происходит восстановление начальной интенсивности кипения гелия (точка 5, см. рис. 1), которые приводят к установлению частоты КГРК $f_y \approx f_0$. Зависимости времени восстановления T_0 и f_0 от величины переохлаждения гелия приведены на рис. 2, из которого видно, что при изменении ΔT в интервале $-(4 \dots 94) \cdot 10^{-3} \text{ K}$ эти времена лежат в диапазоне $(1,5 \dots 22) \cdot 10^2 \text{ с}$. В таблице приведены установившиеся значения частоты КГРК, полученные для различных величин переохлаждения гелия.

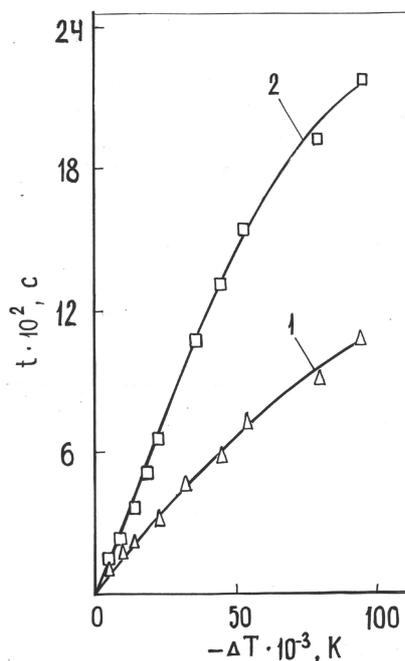


Рис. 2. Зависимость времени восстановления температуры гелия (1) и частоты КГРК (2) от величины переохлаждения гелия

Начальная температура гелия, T_0	К	3,682	3,682	3,682	3,683	3,683
Начальная частота КГРК, f_0	Гц	79	79	79	81	81
Величина переохлаждения гелия, ΔT	К	$-4 \cdot 10^{-3}$	$-10 \cdot 10^{-3}$	$-14 \cdot 10^{-3}$	$-18 \cdot 10^{-3}$	$-23 \cdot 10^{-3}$
Установившееся значение частоты КГРК после отогрева гелия, f_y	Гц	77	77	83	82	84
Уход частоты КГРК, $\Delta f = f_y - f_0$	Гц	-2	-2	+4	+1	+3
Изменение температуры КГРК, $\Delta T_T = \Delta f \cdot C_T$	К	$-4,6 \cdot 10^{-4}$	$-4,6 \cdot 10^{-4}$	$+9,2 \cdot 10^{-4}$	$+2,1 \cdot 10^{-4}$	$+6,3 \cdot 10^{-4}$
Постоянная КГРК-термометра C_T [6]	К/Гц	$2,3 \cdot 10^{-4}$			$2,1 \cdot 10^{-4}$	
Начальная температура гелия, T_0	К	3,678	3,678	3,678	3,679	3,679
Начальная частота КГРК, f_0	Гц	70	70	71	73	73
Величина переохлаждения гелия, ΔT	К	$-33 \cdot 10^{-3}$	$-35 \cdot 10^{-3}$	$-46 \cdot 10^{-3}$	$-53 \cdot 10^{-3}$	$-94 \cdot 10^{-3}$
Установившееся значение частоты КГРК после отогрева гелия, f_y	Гц	73	72	73	76	77
Уход частоты КГРК, $\Delta f = f_y - f_0$	Гц	+3	+2	+2	+3	+4
Изменение температуры КГРК, $\Delta T_T = \Delta f \cdot C_T$	К	$+8,4 \cdot 10^{-4}$	$+5,6 \cdot 10^{-4}$	$+5,6 \cdot 10^{-4}$	$+8,1 \cdot 10^{-4}$	$+11 \cdot 10^{-4}$
Постоянная КГРК-термометра C_T [6]	К/Гц	$2,8 \cdot 10^{-4}$			$2,7 \cdot 10^{-4}$	

Как видно из таблицы, во всех экспериментах наблюдается уход частоты $\Delta f = \pm 1 \dots 4$ Гц, вызванный изменением температуры КГРК $\Delta T_{\Gamma} = \pm (4,6 \dots 11) \cdot 10^{-4}$ К. Изменение температуры КГРК вызывается изменением интенсивности теплоотдачи на границе вентиль-гелий из-за отклонения установившихся после отогрева гелия значений температуры и интенсивности кипения гелия от начальных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход гелия из переохлажденного состояния в начальное происходит за конечное время. В установившемся режиме после отогрева гелия наблюдается уход частоты КГРК, вызванный изменением его температуры. Эти обстоятельства необходимо учитывать при эксплуатации сверхпроводящих устройств, расположенных непосредственно в жидком гелии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Бремер. *Сверхпроводящие устройства*. М: "Мир", 1964, 238 с.
2. Я.С. Кан, В.А. Рахубовский. *Использование проволочных криотронов в вычислительных и измерительных устройствах*: Препринт ХФТИ 74-29. Харьков, 1974, 22 с.
3. Т.К. Уайт. *Экспериментальная техника в физике низких температур*. М: ФМЛ, 1961, 118 с.
4. А. Роуз.Инс. *Техника низкотемпературного эксперимента*. М: "Мир", 1966, 139 с.
5. Я.С. Кан, В.А. Рахубовский. Криотронный генератор релаксационных колебаний в качестве термометра // *ПТЭ*. 1966, № 3, с. 228-229.
6. Я.С. Кан, В.А. Рахубовский, Н.Е. Писачев, В.К. Бабайлов. О некоторых характеристиках КГРК-термометра // *Измерительная техника*. 1972, № 9, с. 30-31.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КРІОТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА РЕЛАКСАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ У ПЕРЕОХОЛОДЖЕНОМУ ГЕЛІЇ

В.А. Рахубовський

Представлені результати досліджень роботи криотронного генератора релаксаційних коливань (КГРК) у переохолодженому гелії. Описані процеси, що протікають у гелії при його відігріванні, і відзначені особливості в роботі КГРК. Обміряні часи відновлення температури гелію і частоти КГРК при різних величинах переохолодження гелію.

INVESTIGATION OF OPERATION OF THE CRYOTRONIC RELAXATION OSCILLATIONS GENERATOR IN THE SUPERCOOLED HELIUM

V.A. Rakhubovskiy

The investigation results of operation of the cryotronic relaxation oscillations generator (CROG) in the supercooled helium have been given. The processes that take place in helium during its warming up have been described and the CROG operation peculiarities have been shown. The helium temperature build-up time and CROG frequency under different values of helium supercooling have been measured.