

## О РАБОТЕ КРИОТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ТВЕРДЫХ АРГОНЕ И ВОДОРОДЕ

*В.А. Рахубовский*

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

Представлены результаты исследований работы криотронного генератора релаксационных колебаний (КГРК) в твердом аргоне, нормальном водороде и пароводороде. Измерены времена установления частоты КГРК при различных величинах охлаждения отвердевшего газа.

### ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения низкотемпературного режима работы сверхпроводящих устройств в качестве хладагентов могут быть использованы отвердевшие газы [1, 2]. Главным образом это связано с возможностью получения более низких температур по сравнению с криогенными жидкостями. Кроме того, в условиях пониженной гравитации (например, в невесомости) переход на отвердевшие газы позволяет исключить сложную задачу теплопередачи в парожидкостной смеси. Отвердевшие газы получают следующими способами: путём замораживания из жидкой фазы в сосудах, охлаждаемых более холодным жидким или газообразным вспомогательным агентом; вакуумированием газообразного пространства над жидкостью газа. Однако в процессе эксплуатации таких устройств возможны нарушения стабильности теплового режима. Поэтому необходимо учитывать время установления температуры в отвердевшем газе.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения данных о времени установления температуры в отвердевшем газе снималась зависимость частоты КГРК, расположенного в нём, от времени. Частота КГРК (при постоянном токе питания и постоянном внешнем магнитном поле) является только функцией температуры вентилей криотронов, которая зависит от температуры отвердевшего газа. Малые габариты, хорошая теплопроводность и малая теплоёмкость материала вентилей криотронов дают возможность практически мгновенно устанавливать тепловое равновесие между КГРК и отвердевшим газом.

Исследования проводились в устройстве, схематически изображенном на рис.1. Подготовка устройства к работе и получение отвердевшего газа описаны в [1]. Параводород ( $p\text{-H}_2$ ) получался из сконденсированного жидкого нормального водорода ( $n\text{-H}_2$ ) в присутствии катализатора 6, в качестве которого использовалась гидроокись железа [3]. Жидкий  $p\text{-H}_2$  переводился затем в твердое состояние путем замораживания, погружая сосуд 1 в жидкий гелий 5. Далее эксперимент проводился следующим образом. В начале опыта устанавливаются: давление паров гелия  $P_0$ , температура гелия  $T_0$ , частота КГРК 3, расположенного в отвердевшем газе 2,  $f_0$ . Затем пони-

жается давление паров до значения  $P_1$ , при котором температура гелия устанавливается  $T_1$  и снимается зависимость частоты КГРК от времени (рис.2).

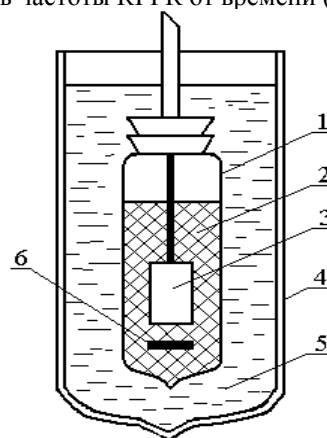


Рис.1. Устройство для исследования работы КГРК в твердых газах: 1 - внутренний сосуд; 2 - отвердевший газ; 3 - КГРК; 4 - внешний сосуд; 5 - жидкий гелий; 6 - катализатор

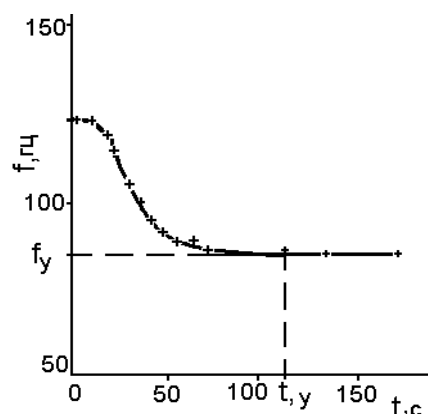


Рис.2. Зависимость частоты КГРК от времени установления температуры в твердом  $n\text{-H}_2$  при:  $T_0=3,381\text{ K}$ ;  $I_n=0,84\text{ A}$ ;  $f_0=123\text{ Гц}$

Аналогичные зависимости  $f = f(t)_{in,\Delta T}$  были получены для КГРК, расположенного в твердых аргоне (Ar) и  $p\text{-H}_2$ . Эксперименты проводились в температурном диапазоне 3,38...3,46 К при высоте столба гелия во внешнем сосуде  $\sim 0,4\text{ м}$  и высоте столба твердого газа во внутреннем сосуде  $\sim 0,04\text{ м}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты исследований работы КГРК в твердых Ar, p-H<sub>2</sub>, n-H<sub>2</sub> приведены в таблице, где I<sub>n</sub> – ток питания КГРК; T<sub>0</sub> – начальная температура гелия; ΔT=T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub> – величина охлаждения гелия; f<sub>0</sub>, f<sub>y</sub> – соответственно, начальное и установившееся значения частоты; t<sub>y</sub> – время установления частоты, а – теплопроводность.

Параметр	Ar	n-H <sub>2</sub>	p-H <sub>2</sub>
I <sub>n</sub> , А	0,84	0,84	0,84
T <sub>0</sub> , К	3,414	3,381	3,456
ΔT, К	-0,04	-0,034	-0,032
f <sub>0</sub> , Гц	131	123	135
f <sub>y</sub> , Гц	89	85	96
t <sub>y</sub> , с	26	116	18
a, см <sup>2</sup> /с	2,5	0,02	160

В таблице приведены также расчётные значения теплопроводностей [4], используемых отвердевших газов, на основе данных, приведенных в работах [2,5]. Из таблицы видно, что наименьшим временем установления температуры в отвердевшем газе и соответственно частоты КГРК обладает твёрдый p-H<sub>2</sub>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установление температуры КГРК, расположенного в отвердевшем газе, при изменении теплового режима происходит за конечное время. Наиболее подходящим хладагентом является твёрдый p-H<sub>2</sub>, обладающий высокой теплопроводностью и теплопроводностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Я.С.Кан, В.А.Рахубовский. Исследование работы криотронного генератора релаксационных колебаний в твёрдых азоте, аргоне и водороде. // *Электронная техника. Серия: Электроника СВЧ*. 1975, в.3, с.106-109.
2. Б.И.Веркин, В.Ф.Гетманец, Р.С.Михальченко. *Теплофизика низкотемпературного сублимационного охлаждения*. Киев: "Наукова думка", 1980, с.18-30.
3. Р.Б.Скотт. *Техника низких температур*. М.: Изд-во иностр. лит., 1962, с.60-61.
4. *Физический энциклопедический словарь*. М.: "Советская энциклопедия", 1966, т.5, с.137.
5. *Справочник по физико-техническим основам криогеники*. М.: "Энергоатомиздат", 1985, с.164.

## ПРО РОБОТУ КРИОТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА РЕЛАКСАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ У ТВЕРДОМУ АРГОНІ Й ВОДНІ

*В.А. Рахубовський*

Представлено результати досліджень роботи криотронного генератора релаксаційних коливань (КГРК) у твердому аргоні, нормальному водні й параводні. Виміряно часи встановлення частоти КГРК при різних величинах охолодження отверділого газу.

## OPERATION OF THE CRYOTRON RELAXATION GENERATOR IN SOLID ARGON AND HYDROGEN

*V.A. Rakhubovskiy*

The research results of the cryotron relaxation generator (CRG) operation in solid argon, normal hydrogen and parahydrogen have been given. The frequency transition times for CRG at different values of cooling the solid gas have been measured.