

## КВАНТОВОЕ ЯВЛЕНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Панизник А.С, Ивановская Е.О., студенты гр. 272303

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Смирнова Г.Ф. – доцент кафедры физики, канд. физ.-мат. наук, доцент

**Аннотация.** Данный доклад представляет собой результат изученных характеристик и особенностей сверхпроводников, описываются сферы их применения, эффект Мейснера-Оксенфельда.

**Ключевые слова.** Сверхпроводимость, критический ток, критическая температура, эффект Мейснера, сверхпроводник первого рода, сверхпроводник второго рода, высокотемпературный сверхпроводник.

В 1911 году голландский физик и химик Хейке Каммерлинг Оннес наблюдал явление сверхпроводимости, при котором некоторые вещества и материалы имеют нулевое электрическое сопротивление при снижении температуры до критической. Сверхпроводимость — это явление, при котором электрическое сопротивление твердого тела снижается до нуля, а магнитное поле выталкивается из его внутренней части.

Существуют параметры, которые характеризуют сверхпроводник на границе перехода от сверхпроводящего состояния в нормальное и наоборот: критический ток, температура фазового перехода и критическое магнитное поле.

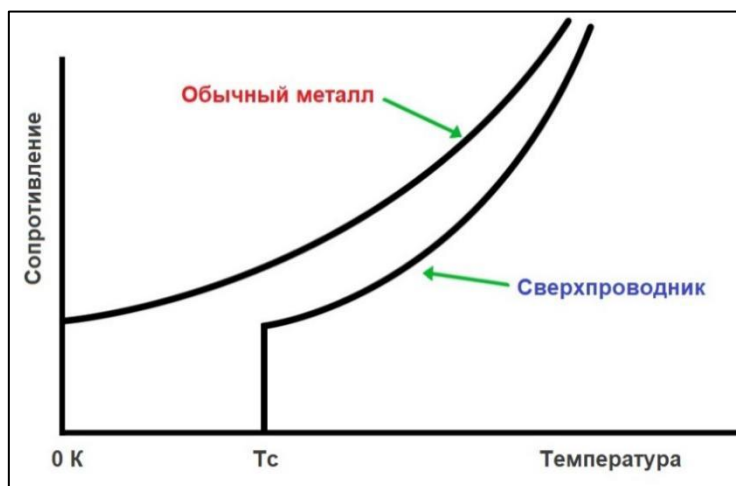
Критический ток в сверхпроводниках – предел устойчивого тока, который не затухает в сверхпроводящем материале, если ток поднимается выше предела, то материал переходит в непроводящее состояние. Если сверхпроводящий материал имеет ограниченное электрическое сопротивление в нормальном проводящем состоянии, то переход в сверхпроводящее состояние сопровождается диссипацией энергии тока и вызывает нагрев.

Температурный интервал, при котором проводник переходит в сверхпроводящее состояние, имеет определенное значение  $T_c$  (температура фазового перехода) [1]. В дальнейшем это значение будет называться просто критической температурой.

Сопротивление обычного металла как функция температуры подчиняется закону  $R(T)$ :

$$R_2 = R_1 * (1 + \alpha(T_2 - T_1)) \quad (1),$$

В сверхпроводниках сопротивление становится равным нулю при достижении критической температуры. Разница между сверхпроводниками и обычными металлами показана на рисунке 1.



С самого начала применение сверхпроводников было очень ограниченным. Причина в том, что температура их использования не превышает 20 К (эквивалентно -253 °С). Сверхпроводники теряют свойство нулевого электрического сопротивления, когда температура превышает критическое значение. Поэтому использование сверхпроводников требует потребления большого количества энергии для их охлаждения, что весьма проблематично и невыгодно.

В феврале 1987 года Г. Беднорц и К. Мюллер из Швейцарии синтезировали в США первый высокотемпературный сверхпроводник [2]. Они продемонстрировали критические температуры,

которые могут быть достигнуты при использовании жидкого азота в качестве криогенной жидкости: соединение Nb<sub>3</sub>Ge достигло самой высокой критической температуры из когда-либо достигнутых (около 23 К). Такие сверхпроводники, критическая температура которых выше точки кипения жидкого азота (77 К), были названы высокотемпературными.

Важной особенностью сверхпроводимости является эффект Мейсснера (эффект Мейсснера-Оксенфельда) – смещение магнитного поля из сверхпроводящего объема при переходе в сверхпроводящее состояние [3]. Это явление было открыто немецкими физиками Вальтером Мейсснером и Робертом Оксенфельдом в 1933 году. Они измерили распределение магнитного поля за пределами сверхпроводящих образцов свинца и олова. В своих экспериментах они охлаждали сверхпроводники ниже критической температуры под действием приложенного магнитного поля и тем самым уменьшали внутреннее магнитное поле образца до нуля. Сверхпроводники с небольшим магнитным полем или без него остаются в состоянии Мейсснера. Однако, если приложенное магнитное поле слишком велико, это состояние разрушается. Сверхпроводники можно разделить на два типа в зависимости от того, как происходит этот распад. В первом типе сверхпроводников сверхпроводимость внезапно прерывается, когда интенсивность приложенного магнитного поля превышает критическое значение. В зависимости от типа твердого тела может возникнуть промежуточное состояние, в котором смешиваются нормальное состояние и область сверхпроводящего материала без магнитного поля [4]. В сверхпроводниках типа II при увеличении напряженности приложенного магнитного поля до первого критического значения увеличивается величина проникновения магнитного потока, но если ток не слишком велик, то возникает смешанное состояние (также называемое вихревым), в котором не остается сопротивления току. При втором критическом значении интенсивности сверхпроводящее состояние разрушается. Это смешанное состояние вызывается вихрем в сверхпроводящей электронной жидкости и иногда называется флюксоном-квантом магнитного потока, поскольку магнитный поток, переносимый этим вихрем, может быть измерен.

Самые чистые элементарные сверхпроводники, кроме ниобия и углеродистых нанотрубок, являются сверхпроводниками первого типа, и почти все примесные и сложные сверхпроводники относятся ко второму типу [5].

Критическое магнитное поле в сверхпроводниках – это характерное значение напряженности постоянного магнитного поля, превышая которое вызывает проникновение магнитного поля с поверхности в глубь сверхпроводника на расстояние, превышающее глубину проникновения магнитного поля; происходит плавный переход материала из состояния сверхпроводимости в нормальное. Критическое магнитное поле зависит от свойств материала сверхпроводника и температуры [6]. В сверхпроводниках первого рода проникновение поля происходит в результате фазового перехода, а критическое магнитное поле  $H_c$  – это напряженность, при которой плотность магнитной энергии равна разности плотностей свободных энергий в нормальном и в сверхпроводящем состояниях.

Применение сверхпроводников разнообразно и распространено. С их помощью можно получить сильные токи, используя источник, который имеет небольшое напряжение. При этом практически отсутствуют тепловые потери, что позволяет использовать сверхпроводник измерительных приборах. Сильноточные технологии, которые предназначаются для устройств больших мощностей, применяются в электроэнергетике, промышленности и на транспорте [7]. Применение сверхпроводников принято делить на всевозможные материалы (пленочные проводники, сверхпроводящие магниты и т.д.), микротехника (микроволновые приборы, сверхчувствительные системы обнаружения магнитных полей, цифровая электроника, искусственные биологические системы), макротехника (электронные системы и сети, генераторы и двигатели).

#### Список использованных источников:

1. Wikipedia.org [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сверхпроводимость/> - дата доступа: 09.04.2023.
2. Electric.info [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electrik.info/main/fakty/1017-vysokotemperaturnaya-sverhprovodimost.html/> - дата доступа: 11.04.2023.
3. Гинзбург В. Л., Андришин Е. А. Сверхпроводимость. – М., 1990. – 112 с
4. Сверхпроводимость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/100/163/> – Дата доступа: 08.04.2023.
5. СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ - Энциклопедия Кругосвет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/tehnologiya\\_i\\_promyshlennost/SVERHPROVODIMOST/](https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/SVERHPROVODIMOST/) – Дата доступа: 08.04.2023.
6. Применение сверхпроводимости в науке и технике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/2320-primeneniye-sverhprovodimosti-v-nauke-i-tehnike/> – Дата доступа: 08.04.2023.
7. Ципенюк Ю. М. Физические основы сверхпроводимости. – Магадан, 2012. – 94 с.