

УДК 628.92.

*Манакова Е.О.,*

*Манаков А.С.,*

*Зверева Т.С.,*

*Бородина А.А*

*студенты*

*факультет «Физико-математический»*

*Воронежский государственный педагогический университет,*

*г. Воронеж*

### **СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

*Аннотация: Эффект сверхпроводимости применяется во многих отраслях человеческой деятельности. Исследование способов увеличения критического магнитного поля позволяет создавать сверхпроводники, имеющие возможность пропускать высокие токи. Впервые это явление, названное сверхпроводимостью, было обнаружено в 1911 г. Камерлинг - Оннесом.*

*Ключевые слова: сверхпроводимость, абсолютный ноль, сопротивление металлов, физика, сплавы.*

*Manakova E.O.,*

*Manakov A.S.*

*Zvereva T.S.,*

*Borodina A.A*

*students*

*faculty of Physics and mathematics»*

*Voronezh state pedagogical University, Voronezh*

### **SUPERCONDUCTIVITY OF METALS AND ALLOYS**

*Abstract: The effect of superconductivity is used in many branches of human activity. The study of ways to increase the critical magnetic field makes it possible to create superconductors that can pass high currents. For the first*

*time this phenomenon, called superconductivity, was discovered in 1911 by Kamerling-Onnes.*

**Keywords:** *superconductivity, absolute zero, resistance of metals, physics, alloys.*

Основой для открытия явления сверхпроводимости стало развитие технологий охлаждения материалов до сверхнизких температур. В 1877 году французский инженер Луи Кайете и швейцарский физик Рауль Пикте независимо друг от друга охладили кислород до жидкого состояния.

Камерлинг-Оннес использовал жидкий гелий для изучения свойств металлов, в частности, для измерения зависимости их электрического сопротивления от температуры. Согласно существовавшим тогда классическим теориям, сопротивление должно было плавно падать с уменьшением температуры, однако существовало также мнение, что при слишком низких температурах электроны практически остановятся и металл совсем перестанет проводить ток. Эксперименты, проводимые Камерлингом-Оннесом со своими ассистентами, вначале подтверждали вывод о плавном спадании сопротивления. Однако 8 апреля 1911 года он неожиданно обнаружил, что при 3 Кельвинах (около  $-270$  C) электрическое сопротивление ртути практически равно нулю. Следующий эксперимент, проведённый 11 мая, показал, что резкий спад сопротивления до нуля происходит при температуре около 4,2 К.

В 1912 году были обнаружены ещё два металла, переходящие в сверхпроводящее состояние при низких температурах: свинец и олово.

В дальнейшем было установлено, что не только у ртути, но и у других металлов и сплавов электрическое сопротивление при достаточном охлаждении становится равным нулю.

Сверхпроводниками первого рода являются чистые металлы, всего их насчитывается более 20. Среди них нет металлов, которые при комнатной температуре являются хорошими проводниками, а, наоборот, металлы,

обладающие сравнительно плохой проводимостью при комнатной температуре (ртуть, свинец, титан и др.).

Сверхпроводниками второго рода являются химические соединения и сплавы, причём не обязательно это должны быть соединения или сплавов металлов, в чистом виде являющиеся сверхпроводниками первого рода. Например, соединения MoN, WC, CuS являются сверхпроводниками второго рода, хотя Mo, W, Cu и тем более N, C и S не являются сверхпроводниками. Число сверхпроводников второго рода составляет несколько сотен и продолжает увеличиваться. [2].

Нулевое сопротивление - не единственная отличительная черта сверхпроводников. Одним из главных отличий сверхпроводников от идеальных проводников является эффект Мейснера [1].

Эффект Мейснера или эффект Мейснера-Оксенфельда заключается в вытеснении магнитного поля из объема сверхпроводника при его переходе в сверхпроводящее состояние.

В эксперименте сверхпроводники, в присутствии приложенного магнитного поля, охлаждали ниже температуры их сверхпроводящего перехода, при этом почти все внутреннее магнитное поле образцов обнулялось.

В состоянии Мейснера сверхпроводники демонстрируют совершенный диамагнетизм или супердиамагнетизм. Это означает, что полное магнитное поле очень близко к нулю глубоко внутри них, на большом расстоянии внутри от поверхности.

Считается, что сверхпроводник со слабым магнитным полем или вообще без магнитного поля пребывает в состоянии Мейснера. Но состояние Мейснера нарушается, когда приложенное магнитное поле оказывается слишком велико.

Сверхпроводящее состояние разрушается, если магнитное поле превысит некоторое критическое значение, зависящее от материала сверхпроводника и температуры. Как показано на слайде зависимость

критического поля,  $H_c$ , при котором разрушается сверхпроводимость, от температуры достаточно хорошо аппроксимируется параболой типа

$$H_c = H_0 \left[ 1 - \frac{T^2}{T_c^2} \right] \text{ где } H_0 = H_c \text{ при } T=0 \text{ К.}$$

Образец будет находиться в сверхпроводящем состоянии при любой комбинации температуры и приложенного магнитного поля дающей точку, лежащую внутри заштрихованной области. Металл можно перевести в нормальное состояние, как указывают стрелки, увеличивая либо температуру, либо магнитное поле, либо то и другое одновременно.

У сверхпроводников второго рода наблюдаются два критических поля  $H_{c1}$  и  $H_{c2}$ . Зависимость  $B(H)$  для сверхпроводников второго рода показана на слайде. Внешнее магнитное поле начинает частично проникать в сверхпроводник, начиная с нижнего критического значения  $H_{c1}$ . Полное проникновение происходит, если магнитное поле превысит верхнее критическое значение  $H_{c2}$ . В этом случае весь образец переходит в нормальное состояние [3].

В интервале между  $H_{c1}$  и  $H_{c2}$  происходит частичное проникновение магнитного потока, возникает смешанное состояние, которое появляется, как это впервые предположил А.А. Абрикосов, в результате проникновения поля в сверхпроводящий образец в виде тонких вихревых нитей.

Первой теорией, претендующей на микроскопическое объяснение причин возникновения сверхпроводимости, была теория Бардина - Купера - Шриффера, созданная ими в 50-е годы XX столетия. Эта теория получила под именем БКШ всеобщее признание и была удостоена в 1972 году Нобелевской премии.

Между носителями сверхпроводящего тока существует жесткая фазовая корреляция. Купером было показано, что носителями сверхпроводящего тока являются частицы с зарядом, равным удвоенному заряду электрона  $2e$ , которые получили название куперовских пар.

Свободный электрон зоны проводимости, двигаясь сквозь решетку и взаимодействуя с ионами, слегка «оттягивает» их из положения равновесия, создавая избыточный положительный заряд

Практическое применение эффекта сверхпроводимости ограничено из-за необходимости низких температур, существования критических полей и критического тока. Преодоление этих препятствий требует больших материальных затрат. Однако в некоторых областях сверхпроводники все же получили распространение.

В течение достаточно большого промежутка времени усилия многих ученых, работающих в области сверхпроводимости, были направлены на поиск материалов с высокой критической температурой. Такие сверхпроводники были получены в середине 80-х годов прошлого века и названы высокотемпературными сверхпроводниками (ВТСП).

#### **Использованные источники:**

1. Курин В.В. Физика сверхпроводников: учебное пособие для студентов 4,5 курсов Радиофизического факультета (РФ) / В.В. Курнин. – Нижний Новгород, 2004. – 80 с.
2. Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко. - Электрон. дан. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с.
3. Де. Жен, Сверхпроводимость металлов и сплавов / Жен Де., перевод с англ. А. И. Русинова ; Под ред. Л. П. Горькова. - Москва : Мир, 1968. - 280 с