

УДК621.135

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Козлов А. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Счастливая Е. С.

Сверхпроводимость была открыта в 1911 году, это связано в первую очередь с получением жидкого гелия.

Какова же природа сверхпроводимости?

Электрическая проводимость физического объекта – это свойство пропускать электрический ток. Проводимость, как известно, обратно пропорциональна электросопротивлению. Чем меньше электросопротивление, тем больше электропроводность. При очень низких температурах возможна ситуация, когда сопротивление практически обращается в нуль. Электронный перенос, при котором электрическое сопротивление отсутствует, и есть сверхпроводимость.

Если рассматривать более строгое научное определение, то звучит оно следующим образом:

Сверхпроводимость – это физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников), при охлаждении их ниже определенной критической температуры T_k , и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и выталкивания магнитного поля из объема образца.

Сверхпроводимость — нечто более сложное, чем просто отсутствие сопротивления. Это еще и определенная реакция на внешнее магнитное поле. Так называемый эффект Мейснера заключается в том, что постоянное не слишком сильное магнитное поле выталкивается из сверхпроводящего образца. В толще сверхпроводника магнитное поле ослабляется до нуля, сверхпроводимость и магнетизм можно назвать как бы противоположными свойствами.

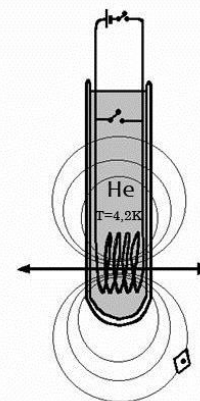
При поиске новых сверхпроводников проверяются оба главных свойства сверхпроводимости:

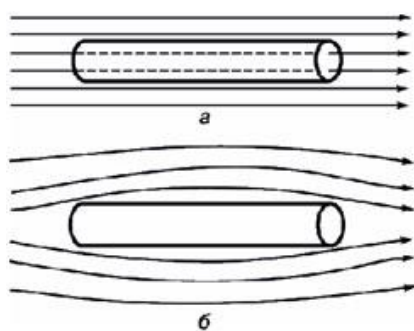
- в сверхпроводнике обращается в нуль электрическое сопротивление;
- из сверхпроводника выталкивается магнитное поле.

Для поиска сверхпроводников изучалось сопротивление чистых металлов с понижением температуры. Использовался образец ртути. И вдруг при температуре немного превышающей 4К электрическое сопротивление ртути исчезало, с повышением температуры сопротивление восстанавливалось. Так же себя ведут свинец, ниобий и другие металлы. Открывались новые сверхпроводящие металлы, исследовались свойства. Каждый из них характеризуется определенной температурой, при которой электрическое сопротивление исчезает. Эту температуру назвали критической.

Сопротивление исчезает полностью, значит, в таком проводнике отсутствуют потери энергии, и ток не затухнет. Убедимся в этом, рассмотрим модель физического опыта: из свинцового провода намотана катушка, которую можно замкнуть в жидком гелии. Вокруг катушки возникает магнитное поле, а теперь замкнем катушку и отключим питание. Магнитное поле сохранилось, опыт показал, что оно оставалось неизменным более двух лет.

Весьма эффектный опыт, демонстрирующий присутствие эффекта Мейснера (эффекта левитации), как назвали это явление, был важным открытием, поскольку благодаря ему физикам стало ясно, что сверхпроводимость – квантово-механическое явление. Если бы сверхпроводимость заключалась только в исчезновении электрического сопротивления, то ее можно было бы попытаться объяснить законами классической физики.



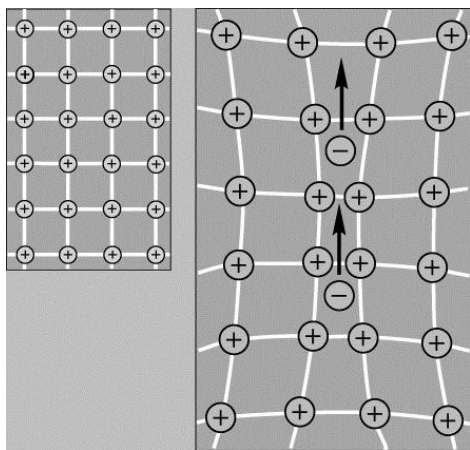


- Магнит, поднимающийся выше высокотемпературного сверхпроводника, охлажденного жидким азотом.
- Постоянный электрический ток течет на поверхности сверхпроводника, действуя так, чтобы исключить магнитное поле магнита.
- Этот поток эффективно формирует электромагнит, который отражает магнит.

Стержень из сверхпроводника висит над катушкой, по которой идет ток. Магнитное поле проникает в толщу металла (а), когда же металл переходит в сверхпроводящее состояние, магнитное поле выталкивается и порождает в сфере ток противоположного направления (б). Как известно противоположно направленные токи отталкиваются. Сила отталкивания может скомпенсировать силу тяжести.

По этой же причине и плавает магнит на магнитной подушке над чашей из сверхпроводника. Впервые такой опыт осуществил советский физик Аркадьев в 1945 году.

Сверхпроводимость, на первый взгляд, кажется явлением странным и, в некоторой мере, даже противоречащим здравому смыслу. Полвека назад была сформулирована теория БКШ (Бардина, Купера, Шриффера), которая смогла объяснить этот эффект. Суть теории Бардина–Купера–Шриффера заключается в том, что при сверхнизких температурах тяжелые атомы металлов практически не колеблются (тепловые колебания атомов минимальны), и их можно считать фактически стационарными. В 1956 Купер показал, что если электроны притягиваются друг к другу, то, сколь бы слабым ни было это притяжение, они должны "конденсироваться" в связанное состояние. Можно предположить, что это связанное состояние и есть искомое сверхпроводящее состояние. Как представлял себе Купер, такое притяжение возможно между двумя электронами и должно приводить к образованию связанных пар (получивших название куперовских), перемещающихся в кристаллической решетке.



Еще в 1950 другой ученый по фамилии Фрелих высказал предположение, что электроны могут притягиваться друг к другу за счет взаимодействия с атомами решетки. Этот механизм притяжения называется электрон-фононным взаимодействием; он состоит в следующем. Электрон, движущийся в кристаллической решетке, как бы искажает ее. Это обусловлено взаимодействием между отрицательно заряженными электронами и положительно заряженными атомами решетки. Движущийся через решетку электрон "сближает" ее атомы. Второй электрон затем втягивается в "суженную область" под усиленным действием положительного заряда. Энергия первого электрона,

затрачиваемая на "деформацию решетки", передается без потерь второму члену куперовской пары. Такая пара движется по решетке, обмениваясь энергией через атомы решетки, но не теряя при этом своей энергии в целом

Чтобы лучше понять этот эффект, можно привести аналогию из мира спорта. Велосипедисты на трекке нередко используют тактику «драфтинга» (а именно, «висят на хвосте» у соперника) и, таким образом, снижают сопротивление воздуха. То же самое делают и электроны, образуя так называемые куперовские пары.

Первые сверхпроводники сохраняли свои уникальные свойства при нагревании вплоть до температур порядка 20К (двадцать градусов выше абсолютного нуля). Долгое время это считалось температурным пределом сверхпроводимости. Однако в 1986 году сотрудники швейцарской лаборатории компьютерной фирмы IBM открыли сплав, сверхпроводящие

свойства которого сохраняются и при 30К. Сегодня же науке известны материалы, остающиеся сверхпроводниками даже при 160К (то есть чуть ниже -100C). При этом общепринятой теории, которая объясняла бы этот класс высокотемпературной сверхпроводимости, до сих пор не создано, но совершенно ясно, что в рамках теории БКШ ее объяснить невозможно, так как в рамках теории БКШ максимальная величина критической температуры не может превышать 40К.

Литература

1. В. А. Гинзбург, Е.А. Андрюшин «Сверхпроводимость»
2. Альфа-М, 2006 г.
3. <http://elementy.ru/trefil/21064>
4. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/5699/СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Репозиторий БНТУ