План реферата

 Стр.

1.Свойство сверхпроводимого состояния……………………………3

2.Сверхпроводник в магнитном поле………………………………...4

3.Изотермические свойства…………………………………………...5

4.Изотопический эффект………………………………………………6

5.Квантовая основа…………………………………………………….7

6.Условия сверхпроводимости………………………………………..9

 а.Сверхпроводники I и II рода……………………………………...9

 б.Разрушение током………………………………………………..10

 в.Новые вещества…………………………………………………..10

7.Некоторые применения сверхпроводимости……………………..10

 Литература…………………………………………………………...15

 В 1911 г. Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости, изучение которого интенсивно продолжается до наших дней и составляет одно из важнейших направлений физики твердого тела. Оказалось, что при температуре, близкой к 40К,электрическое сопротивление ртути скачком обращается в нуль .

 Многие металлы и металлические сплавы при температурах,близких к абсолютному нулю, переходят в особое сверхпроводящее состояние,наиболее поразительным свойством которого является с в е р х п р о в о д и м о с т ь- полное отсутствие сопротивления постоянному электрическому току.Наведенный в сверхпроводящем кольце ток сохраняется неизменным практически бесконечно долго – в течение нескольких лет не удается обнаружить сколько-нибудь заметного затухания этого тока.Этот эксперимент провел в1959 г. американский ученый физик Коллинз.

 Эффект сверхпроводимости состоит в исчезновении электрического сопротивления при конечной, отличной от О0 К, температуре ( критическая температура- Тк ).

 Открытие Камерлинга-Оннеса повлекло исследования разных веществ –сверхпроводников и их свойств. Были отмечены резкая аномалия магнитных, тепловых и ряда других свойств, так что правильнее говорить не только о сверпроводимости, а об особом, наблюдаемом при низких температурах состоянии вещества .

 Сейчас выявлена целая группа веществ –сверхпровод – ников ( В 1975 их было >500).Самой высокой критической температурой среди чистых веществ обладает ниобий ( Тк =9,220 К), а наиболее низкой – иридий ( Т к = 0,1400 К).

Сложное соединение ,синтизированное в 1967 г.,сохраняет сверхпроводимость до 20,10 К, в 1973 г. рекорд равнялся 22,30 К.

 Критическая температура зависит не только от химического состава вещества, но и от структуры самого кристала.Например ,серое олово является полупроводником, а белое олово- металлом, способным к тому же при температуре,равной 3,720 К,переходить в сверхпроводящее состояние.

Бериллий–сверхпроводник в виде тонкой пленки. Некоторые вещества становятся сверхпроводниками при высоком давлении ( Ва с Т к=50 К под давлением ~ 150 кбар).

 Из всего следует вывод,что сверхпроводимость представляет собой коллективный эффект,связанный со структурой всего образца.

 Переход металла в сверхпроводящее состояние и обратно происходит при тех значениях температуры и напряженности магнитного поля, которые соответствуют точкам на кривой зависимости Н к от температуры (рис 1.)

 Учитывая обратимость перехода и различие свойств металла в сверхпроводящем и нормальном состояниях, этот переход можно рассматривать как фазовый переход между двумя различными состояниями одного и того же вещества : n-фазой( нормальное состояние) и s-фазой (сверхпроводящее состояние).

Рис.1

Зависимость критического магнитного поля Нк от температуры Т.

**Сверхпроводник в магнитном поле**.

 1. В 1933 г. Мейсснером было открыто одно из свойств сверхпроводников(эффект Мейсснера).Оказалось,что магнитное поле не проникает в толщу сверхпроводящего образца.Если этот образец при температурах более высоких,чем Тк, то в нем , как и во всяком нормальном металле,помещенном во внешнем поле .напряженность будет отличной от нуля. Не выключая внешнего магнитного поля, начнем постепенно понижать температуру.Тогда окажется ,что в момент перехода в сверхпроводящее

состояние магнитное поле вытолкнется из образца и станет справедливым равенство В = 0 ( В- магнитная индукция,равная, по определению,средней напряженности магнитного поля в веществе).При включении внешнего поля Н в веществе появляется отличная от нуля индукция В, равная В= μН. Коэффициент и называется магнитной проницаемостью вещества.При μ<1 наблюдается ослабление приложенного поля и В< Н.В сверхпроводниках В=0,что соответствует нулевой магнитной проницаемости.Это эффект идеального диамагнетизма. Если сверхпроводящий образец поместить во внешнее поле,то в поверхностном слое металла возникает стационарный

 электрический ток,собственное магнитное поле которого противоположно приложенному полю.что в результате и приводит к нулевому значению индукции в толще образца.

 Идеальный диамагнетизм сверхпроводников означает возможность протекания поверхностного стационарного тока,не испытывающего электрического сопротивления.

# Рис.2

Наличие сопротивления привело бы к тепловым потерям и в отсутствие электрического поля-к быстрому затуханию тока.Эффект Мейснера и явление сверхпроводимости, т.е.полное отсутствие сопротивления,тесно связаны между собой и явлются следствием общей закономерности, которую и установила теория сверхпроводимости.

 2. Достаточно сильное магнитное поле при данной температуре разрушает сверхпроводящее состояние вещества. При действии на сверхпроводник магнитного поля температура Тс снижается.Магнитное поле с напряженностью Нс,которое при данной температуре вызывает переход в-ва из сверхпроводящего состояния в нормальное,называется критическим полем.

Т.о.,металл можно перевести из сверхпроводящего состояния,воздействуя на сверхпроводник магнитным полем.Тем не менее,был обнаружен класс веществ,

сохраняющих свойство сверхпроводимости в мощных магнитных полях

и при сильных токах.

**Изотермические свойства.**

 Переход вещества в сверхпроводящее состояние сопровождается изменением его тепловых свойств.

 Электронная теплоемкость нормальных металлов с понижением температуры убывает по линейному закону сe~Т. В сверхпроводниках – по экспоненциальному закону.

где а и b – постоянные,не зависящие от температуры величины.

Рис.3

Скачек теплоемкости

 Изотермический переход из сверхпроводящего состояния в нормальное связан со скачкообразным изменением теплопроводности и теплоемкости.

Это универсальное свойство сверхпроводников.Различают теплопроводность,

связанную с движением электронов , и тепловой поток в решетке кристалла.

Коэффициент теплопроводности х можно представить в виде суммы

х=хэл+хреш.Электроны рассеиваются различными причинами(колебания решетки,примеси,другие электроны).Результирующая электронная теплопроводность Хэл вычисляется по правилу

**Изотопический эффект.**

В 1950 г. Максвелл ,Рейндолс при исследовании ртути открыли ,что сверхпроводимость возникает при взаимодействии электронов с решеткой кристалла.Электроны проводимости движутся в сверхпроводнике беспрепятственно-без “трения” об узлы кристаллической решетки.

В сверхпроводниках возникает взаимное притяжение электронов с образованием электронных пар.

Рис.4

Электрон проводимости е притягивает к себе ион I кристаллической решетки,смещая его из положения равновесия.При этом изменяется электрическое поле в кристалле- ион I создает электрическое поле,

действующее на электроны проводимости,в том числе и на электрон e1

Взаимодействие е1 и е2 осуществляется с помощью кристаллической решетки.

Смещение иона под действием электрона приводит к тому ,что электрон оказывается окруженным “облаком” положительного заряда, превышающего собственный отрицательный заряд электрона.Электрон вместе с этим “облаком”имеет суммарный положительный заряд и притягивается к другому электрону.

 Интересно,что именно взаимодействие электронов с решеткой кристалла ответственно за появление сопротивления . При определенных условиях оно приводит к его отсутствию,т.е эффекту сверхпроводимости .Так было

расскрыто объяснение сверхпроводимости.

 В 1957 г. Бардином,Купером,Шриффером была построена теория сверхпроводящего состояния.

**Квантовая основа.**

 1.В квантовой теории металлов притяжение между электронами ( обмен фононами)связывается с возникновением элементарных возбуждений решетки.

Электрон,движущийся в кристалле и взаимодействующий с другим электроном посредством решетки,переводит ее в возбужденное состояние.При переходе решетки в основное состояние излучается квант энергии звуковой частоты- фонон,который поглащается другим электроном.Притяжение между электронами можно представить как обмен электронов фононами,причем притяжение наиболее эффективно,если импульсы взаимодействующих электронов антипараллельны.

 2.Возникновение сверхпроводящего состояния вещества связано с возможностью образования в металле связанных пар электронов.Проявление сил притяжения можно представить.В результате деформации решетки электрон оказываеся окруженным “облаком “положительного заряда, притягивающегося к электрону. Тогда такой электрон вместе с окружающим его облаком представляет собой положительно заряженную систему,

которая будет притягиваться к другому электрону.

 При высоких температурах достаточно сильное интенсивное тепловое движение отбрасывает частицы друг от друга,размывает ионную “шубу“, что фактически уменьшает силы притяжения.При низких же температурах силы притяжения играют очень важную роль.

 Возникновение межэлектронного притяжения не противоречит законам физики.Два электрона, несомненно, отталкиваются друг от друга ,если находятся в пустоте.

В среде же сила их взаимодействия равна



 (ε-диэлектрическая проницаемость среды).Если среда такова ,что ε <0, то одноименные заряды (в данном случае электроны) будут притягиваться.

 Кристаллическая решетка и является той средой , которая делает отрицательной диэлектрическую проницаемость в сверхпроводнике.

 3.Расстояние между электронами пары равно:

 где h-постоянная Планка,uF-скорость электрона на уровне Ферми ,

k – постоянная Больцмана, Тc–температура перехода в сверхпроводящее состояние.Оценка показывает,что δ=10 см,т.е.электроны,образующие пару ,

находятся на расстоянии порядка 104 периодов кристаллической

решетки.Вся электронная система сверхпроводника представляет собой связанный коллектив ,простирающийся на громадные , по атомным масштабам,

расстояния.

 Если при сколь угодно низких температурах кулоновское отталкивание между электронами преобладает над притяжением,образующим пары ,то вещество (металл или сплав) остается по своим электрическим свойствам нормальным.Если же при температуре Т происходит преобладание сил притяжения над силами отталкивания,то вещество переходит в cверхпроводящее состояние

 4.Важнейшей особенностью связанного в пары коллектива электронов в сверхпроводнике является невозможность обмена энергией между электронами и решеткой малыми порциями,меньшими ,чем энергия связи пары электронов.

Это означает, что при соударении электронов с узлами кристаллической решетки не изменяется энергия электронов и вещество ведет себя как сверхпроводник с нулевым удельным сопротивлением.

 Квантомеханическое рассмотрение показывает, что при этом не происходит рассеяния электронных волн на тепловых колебаниях решетки или примесях.А это и означает отсутствие электрического сопротивления.

**Условия сверхпроводимости.**

**1.Сверхпроводники I и II рода.**

 Когда магнитный поток проходит через проводник без потерь и когда энергия связана с поверхностями раздела между участками n-фазы и s-фазы ( граница между двумя фазами всегда обладает поверхностной энергией.)

Рис. 5

На рис. 5 а-сверхпроводник с идеальным диамагнетизмом;б-сверхпроводник в смешанном состоянии.Заштрихованные области соответствуют сверхпроводящему состоянию (s-фазе), незаштрихованные- нормальному (n-фазе).При толщине слоев s- фазы,меньшей глубины проникновения , магнитный поток пронизывает и сверхпроводящие слои(Н- напряженность внешнего магнитного поля).

 Искажения плотности сверхпроводящих электронов не могут проявлятся на расстояниях,меньших длины когерентности ξ~ΔS.

 В поверхностную энергию дают вклад эффекты,зависящие как от глубины проникновения λ,так и от длины когерентности ξ.Как было показано ,вклад в поверхностную энергию отрицателен( т.к. при этом объем чистой s-фазы

уменьшается на величину порядка λS, где S-площадь поверхности s-фазы) и , следовательно, добавка к внутренней энергии сверхпроводника уменьшается на величину порядка λSH2/8π.Если выполняется условия ξ>λ(более точный расчет дает условие ξ>λ1/2),то образование слоистой структуры энеогетически невыгодно и сверхпроводник существует в виде сплошной s-фазы.

Такие сверхпроводники называются сверхпроводимостью I рода.К ним принадлежат почти все чистые сверхпроводники .Если же выполняется условие ξ<λ1/2,то энергетически выгодно образование слоистой структуры и сверхпроводники находятся в смешанном состоянии.Такие сверхпроводники называются свехпроводимостью II рода.К ним относятся многие сверхпроводящие сплавы и сверхпроводники, загрязненные примесями.

 2.Сверхпроводимость может разрушаться током..

Если сверхпроводник II рода поместить в сильное внешнее магнитное поле, то критический ток в нем окажется равным 0,т.е. протекание сквозь угодно малого тока будет сопровождаться тепловыми потерями.Возникает система вихревых нитей и при пропуске тока происходит их взаимодействие.Опытным путем доказано,что жесткие сверхпроводники выдерживают сильные магнитные поля,а благодаря неоднородностям структуры через них можно пропускать большие токи.

 3.Созданы новые сверхпроводящие вещества , дающие возможность получать поля около 200 кгс. Перспектива открытий в этой области неограничена.

**Применение сверхпроводимости.**

 Продолжается поиск материалов,позволяющих получать все более мощные магнитные поля. Соленоиды создают не просто сильные магнитные поля.Возможно получение однородных полей в достаточно большой области пространства,что весьма важно при проведении научных исследований,

посвященных изучению свойств вещества в магнитном поле.

 Наиболее заманчиво применение сверхпроводников в обмотках соленоидов для получения сверхсильных магнитных полей- порядка 100 000э и выше. Сильные магнитные поля необходимы,например, при управлении плазменными пучками в установках для исследования и возможного получения управляемых термоядерных реакций и в современных ускорителях заряженных частиц высоких энергий.

 В этом случае энергию надо затрачивать только на охлаждение обмоток до температур ниже критической.

 Каждый элемент провода с током в такой обмотке находится в очень сильном магнитном поле соседних витков,поэтому целесообразно применять сверхпроводники II рода,выдерживающие большие магнитные поля. Для этих целей выявлены сверхпроводимость III рода( ниобий-цирконий или ниобий-олово).

 Сверхпроводящие сплавы используются для получения сверхмощных постоянных магнитов. В отличие от обычного электромагнита сверхпров. не нуждается во внешнем источнике питания,поскольку протекающий в нем ток не испытывает электрического сопротивления.

 Другим примером применения сверхпроводников является клистрон-управляющий элемент в электрических цепях.На проводник,по которому течет электрический ток, наматывается несколько витков также сверхпроводящей проволоки, но обладающей более высоким значением критического поля Н к.1Меняя ток в витках,можно создать критическое поле в управляемом сверхпроводнике, что приведет к его “запиранию” вследствие потери им С.

 Много исследований посвящается вопросу об использовании сверхпров. при создании вычислительных машин.Сверхпроводящий ток является незатухающим.Это позволяет использовать его в качестве идеального запоминающего устройства,хранящего большие и легко считываемые запасы информации.

 Скорость “ вспоминания” сверхпроводящих устройств значительно превышает возможности человеческого мозга.Они в состоянии всего лишь за 10-6 сек выбрать нужную информацию из 1011 ее единиц.

 В вычислительной технике используется двоичная система.Двойственность сверхпроводников( они могут находиться или в нормальном,или в сверхпроводящем состоянии),быстрота их перехода под действием темпера-

туры или магнитного поля из одного состояния в другое позволяют использовать их в качестве элементов вычислительных машин. И в качестве переключающих устройств,работающих с очень высокой скоростью при малых затратах мощности, сверхпроводники идеальны.

 Одно из таких устройств –так называемый проволочный криотрон.

Слово ”криотрон” греческого происхождения (cryo- холод).Изобретен этот прибор американским ученым Баком.Прибор состоит из проволоки,

сделанной,например,из свинца или тантала, по которой протекает сверхпроводящий ток .Эта проволока называется клапаном.На нее намотана более тонкая –из ниобия.Катушка,образованная этим тонким проводом,

называется управляющей.При протекании по ней достаточно большого тока сверхпроводимость в клапане разрушается.

Ниобий был выбран в качестве материала,из которого изготовляется управляющий провод,по той простой причине,что сверхпров. сохраняетсся в нем при достаточно сильных магнитных полях.Критические поля свинца или тантала,образующих клапан,являются весьма малыми ,и сверхпров.в них поэтому разрушается при пропускании в ниобиевой катушке достаточно слабого тока.

 Сопротивление в клапане меняется при этом скачком от нуля до некоторого конечного значенитя.Уменьшением тока в управляемом проводе снова восстанавливается сверхпроводящие состояния свинца или тантала.

 Скорость переключения в клиотронах достигает двух наносекунд

(2\*10-9сек).Высокая скорость в сочетании с простотой устройства и лежит в основе использования сверхпроводящих криотронов в вычислительной технике.ЭВМ,использующая сверхпроводящие устройства,выделяется

своей необычной компактностью.

 Вполне возможным является создание миниатюрного сверхпроводящего триода.Его можно представить себе состоящим всего из трех наклеенных друг на друга металлических пленок , причем роль сетки обычной радиолампы играет средняя полоска , в которой регулируется ток и создаваемое им магнитное поле.

 Сверхпроводник ,в толщу которого не проникает магнитное поле, всегда окружен магнитной “ подушкой”.

 Эффект механического отталкивания используется для создания опор без трения.Сверхпроводящая сфера благодаря диамагнитному эффекту висит над кольцом,в котором циркулирует незатухающий ток.Сила тяжести

при этом уравновешивается магнитной “ подушкой”,создаваемой сверхпров . током.Оказывается,что могут “парить” довольно тяжелые предметы.Так,в одном из опытов был подвешен свинцовый цилиндр весом 5 кг.

 Устройство, в котором используется описанное явление,называется сверхпроводящим подвесом.Такие подвесы могут использоваться в гироскопах,моторах и в ряде других устройств.Принцип механического отталкивания положен в основу создагния электрических машин,к.п.д. которых благодаря замечательным свойствам сверхпроводников равена 100%. В этих машинах ротор выполнен в виде шестиугольного сверхпроводящего

стаканчика.Два магнитика ,вращающиеся по окружности статора,отталкивают от себя магнитной “подушкой” сверхпроводящий ротор.Последний при этом приходит во вращение, скорость которого доходит до 20 000 об/мин

и в принципе может быть увеличена до большого значения.

 Самая заманчивая перспектива использования эффекта механического отталкивания связана с работами по созданию “сверхпроводящей “ железной дороги.Японцы первыми создали модель железной дороги на магнитной подушке с вагонами ,в которых находятся сверхпроводящие магниты.Вагон весом 2 т и размером 4х1,5 х 0,8 м двигался над путепроводом со скоростью

50 км/час.Длина пути составляла 400м.Далее путь увеличили до 7 км.Транспорт

на “магнитной подушке “ сможет двигаться со скоростью 500 км/ час!Эти разработки ведутся во всех странах Европы.

 У нас разработан проект такой дороги между Петербургом и Москвой.

Это явление в лабораторных условиях рассмотрел в замечательном эксперименте В.К.Аркадьев,назвавший его “ гроб Магомета”.Над металличе-

ским кольцом, в котором циркулирует такой ток, поместить в сверхпроводящую сферу, то на ее поверхности индуцируется сверхпроводящий ток.Его возникновение вследствие диамагнитного эффекта приведет к появлению сил отталкивания между кольцом и сферой.В результате сфера оказывается висящей над кольцом на высоте ,определяемой равенством силы

отталкивания и веса сферы .Подобный эффект механического отталкивания

наблюдается и в том случае , когда над сверхпроводящим кольцом помещается постоянный магнит,без видимой поддержки висящий над кольцом,в котором циркулируют индуцированные магнитом незатухающие сверхпроводящие токи.

 Сверхпроводящие трансформаторы.Отсутствие в них тепловых потерь; сверхпроводящие трансформаторы при большой мощности (до 1 000 000 квт) оказываются значительно более компактыми по сравнению с обычными.

В них можно не использовать сталь в качестве магнитного материала. Создаваемые сверхпроводниками магнитные поля намного превосходят значения напряженности,реализуемые в стальных материалах.

 В последнее время в радиотехнике начинают использовать сверхпроводящие объемные резонаторы.Добротность резонатора обратно пропорциональна

электрическому сопротивлению его стенок.Ясно,что применение сверхпроводников, не обладающих электрическим сопротивлением, является с этой точки зрения весьма перспективным. Так, обычный прямоугольный свинцовый резонатор при Т = 3000К и частоте 1010 гц имеет добротность Q= 2\*103. Тот же резонатор, находящийся в сверхпроводящем состоянии (Т=4,20К),характеризуется добротностью, достигающей Q= 4\*108.

 Компактность мсожет использоваться в космическом корабле для

 создания магнитной противорадиационной защиты.Космонавт должен взять в космос “ низкие температуры” и сверхпроводящий соленоид.

 Квантование магнитного потока в сверхпроводниках используется для создания магнитомеров для измерения слабых магнитных полей.Приборы такого вида называются квидами.Они фиксируют изменения потока

Например, если площадь сечения сквида равна 0,1 см 2,то можно измерять поля ~10-10 э!

Катушка с полем

переменного тока

Тонкая пленка

(~10-6 cм толщиной)

Рис.6

Изображенный сквид представляет собой два тонких сверхпроводящих полуцилиндра, полученных напылением на катушку.Эти полуцилиндры соединены тонким мостиком, образующим слабую связь.Квантование этого магнитного потока приводит к ступенчатому характеру зависимости потока от внешнего магнитного поля.Это изменение потока генерирует сигнал в резонансном колебательном контуре.С помощью этих сигналов и регистрируются слабые изменения магнитного поля.

 Сквиды используются для снятия магнитокардиограмм, т.е. для исследования сигналов от магнитного поля , создаваемого при работе сердца пациента.Сквид

располагается в криостате,на расстоянии нескольких сантиметров от сердца

пациента.Регистрируются резкие сигналы ,идущие от сердца.Ясно,что этот метод важен для медицинских исследований.

 Квантование магнитного потока может быть использовано для создания пространства,в котором вообще отсутствует магнитное поле.Если охладить цилиндр,внутри которого имеется слабое магнитное поле, до температуры ниже критической, то внутри цилиндра “заморозится” некоторый магнитный поток.Если после этого мы начнем постепенно увеличивать радиус цилиндра,то число квантов потока не изменится, но увеличение площади сечения повлечет за собой соответствующее уменьшение напряженности поля.Если использовать несколько вложенных друг в друга цилиндров.то описанным путем можно в конце концов добиться того, что во внутреннем цилиндре не будет содержаться ни одного кванта потока.

 Таким образом, возникает область,не содержащая магнитного поля, т.е. создается идеальный магнитный экран.

 Интересным прибором является также сверхпроводящий болометр.Он предназначается для измерения радиации в инфракрасной области спектра.

Основной частью такого болометра является тонкая проволока из сверхпроводника,находящаяся при температуре,близкой к критической. Под

действием падающей радиации, которая поглащается металлом,температура повышается и становится больше Тк.При этом сверхпроводимость разрушается,и в проволоке скачком восстанавливается нормальное сопротивление.

 Это приводит к легко регистрируемому падению напряжения.Резкость перехода в нормальное состояние делает сверхпроводящий болометр весьма чувствительным прибором.Порог чувствительности его составляет

10-10–10-12 вт.

 Техническая сверхпроводимость находится в развитии и составляет часть технической физики.

Использованная литература

1.Иваноа Б.Н.Законы физики.М.: Высшая школа .1986.

2.Кресин В.З.Сверхпроводимость и сверхтекучесть.М.:Наука,1978.

3.Парселл Э.Электричество и магнетизм.М.:Наука,1985.

(Берклиевский курс физики).

4.Суорц Кл.Э.Необыкновенная физика обыкновенных явлений.

В сборнике “Успехи физических наук”.М.:Наука,1986.

5.Тилли Д.,Тилли Дж.Сверхтекучесть и сверхпроводимость,пер.с англ.

М.: Наука,1977.

6.Физика микромира,Малая энциклопедия.М.:Советская энциклопедия,

1980, с.335-352.

7.Шубин А.С.Курс общей физики.М.:Высшая школа,1976.

8.Яворский Б.М.,ДетлафА.А..Справочник по физике.М.:Наука,1985,с.417.

**Московский государственный университет**

**путей сообщения (МИИТ)**

## Кафедра физики-2

##### *Реферат по теме*

### Сверхпроводимость

 Выполнил студент группы АЭЛ-221

 Юфит Семен

 Руководитель:Государева Н.А.

#### МОСКВА-1999