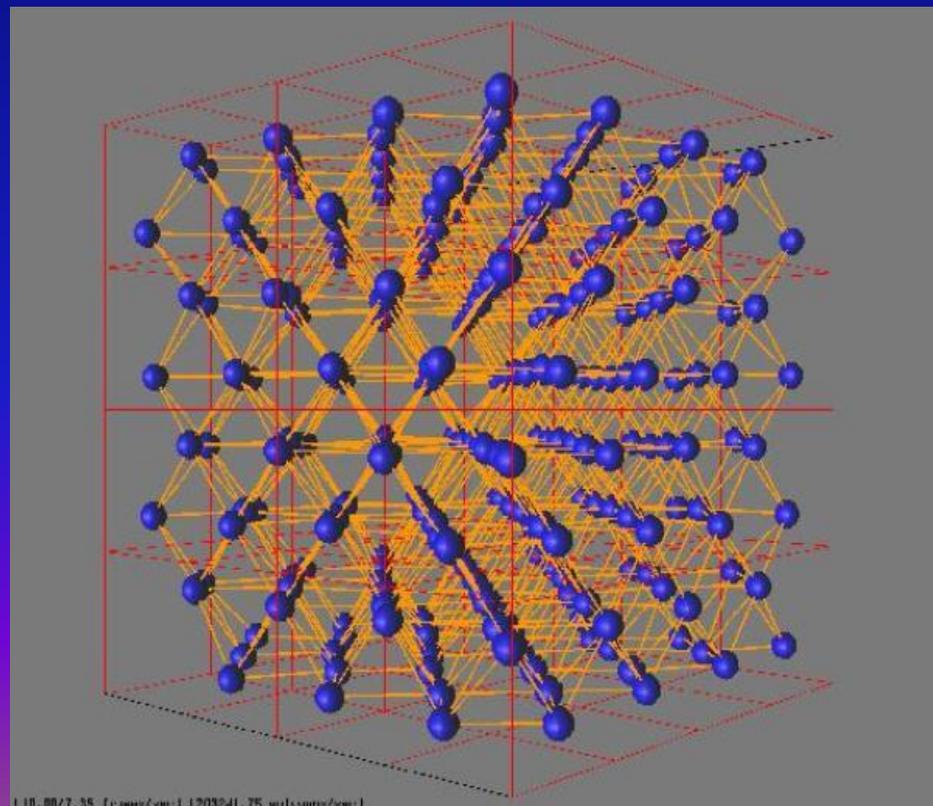
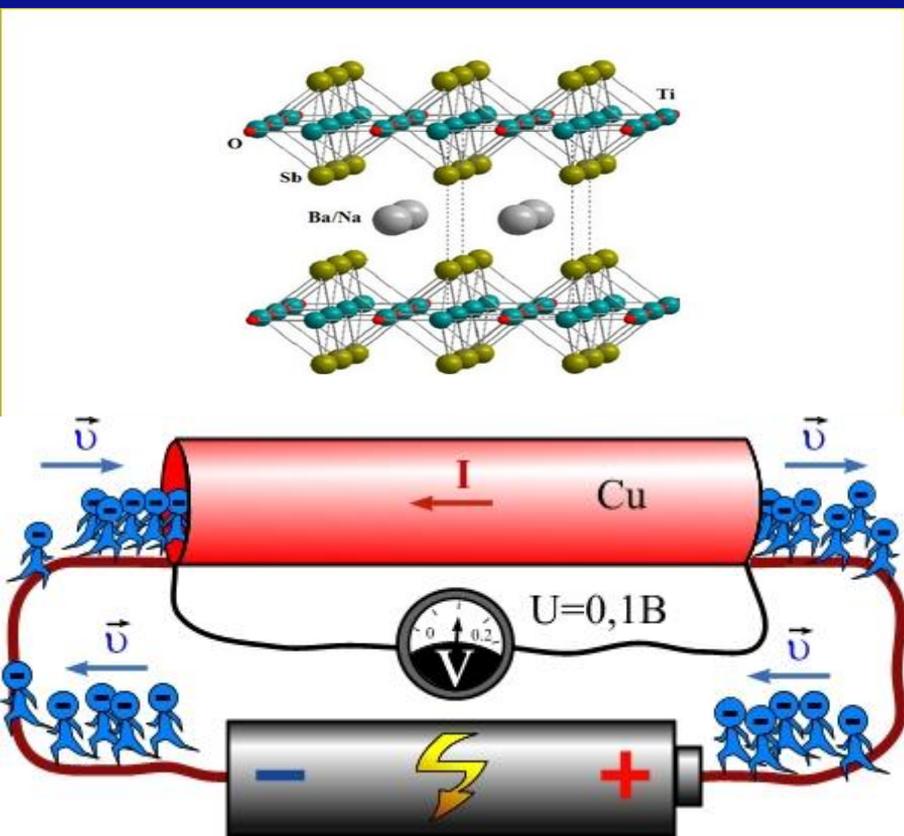


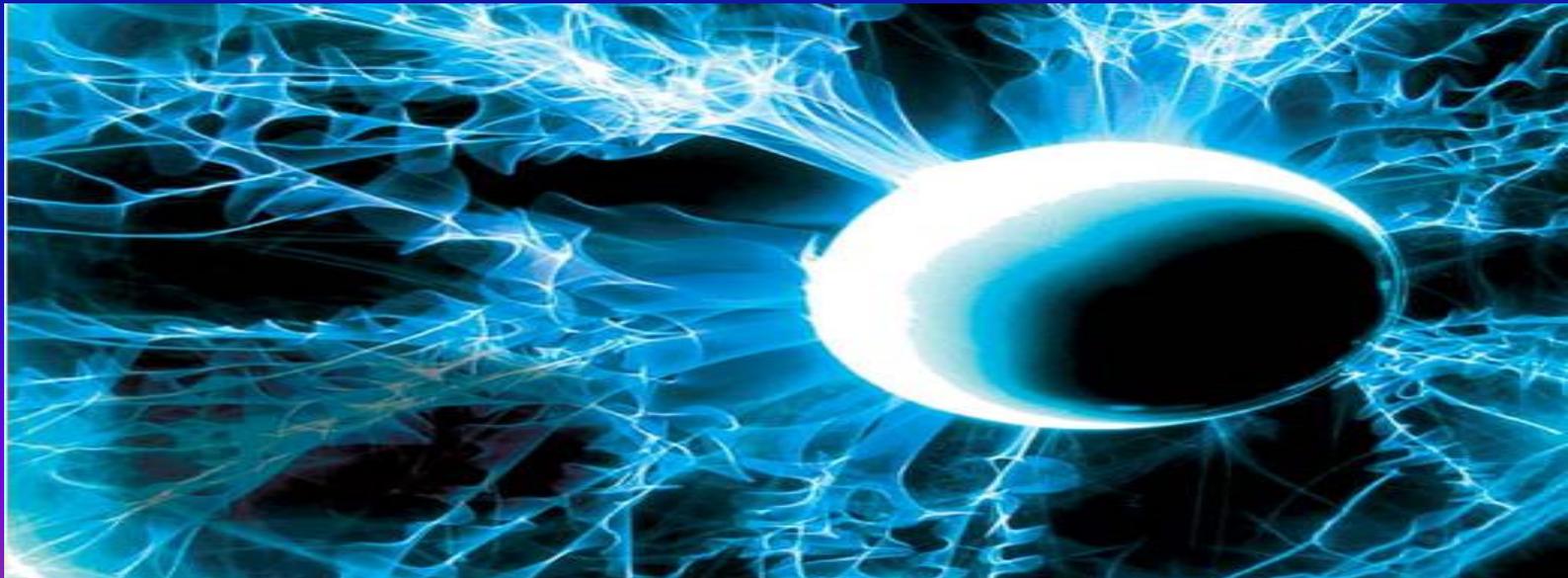
«Сверхпроводимость»



Смолина Георгия,
ученика 10 класса
ГБОУ СОШ №1465

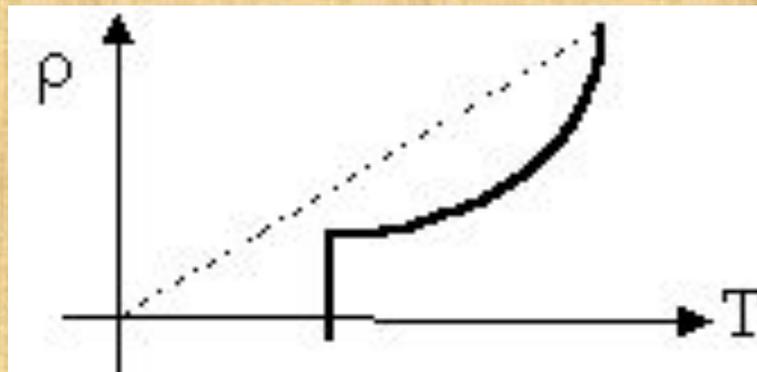
Учитель : Круглова Лариса
Юрьевна

Сверхпроводимость — свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения (критическая температура). Известны несколько сотен соединений, чистых элементов, сплавов и керамик, переходящих в сверхпроводящее состояние. Сверхпроводимость — квантовое явление. Оно характеризуется также эффектом Мейснера, заключающемся в полном вытеснении магнитного поля из объема сверхпроводника. Существование этого эффекта показывает, что сверхпроводимость не может быть описана просто как идеальная проводимость в классическом понимании.



История открытия

- В 1911 году голландский физик Камерлинг-Оннес открыл замечательное явление - сверхпроводимость. Он обнаружил, что при охлаждении ртути в жидком гелие ее сопротивление сначала меняется постепенно, а потом при температуре $4,1\text{ К}$ очень резко падает до 0 (см. рис.). Это явление было названо сверхпроводимостью. Позже было открыто много других сверхпроводников.



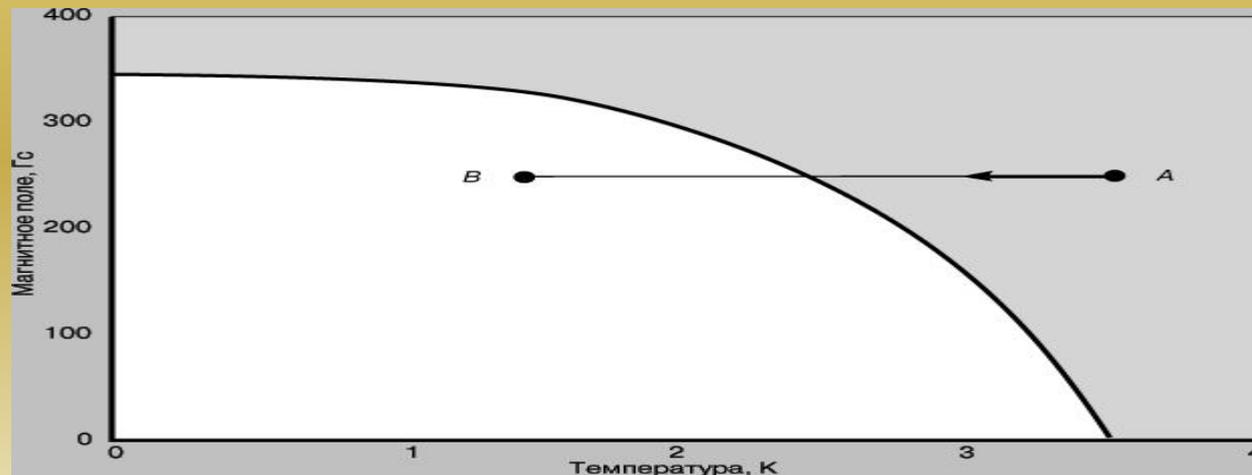
Свойства сверхпроводников

● Нулевое электрическое сопротивление

Для постоянного электрического тока электрическое сопротивление сверхпроводника равно нулю. Это было продемонстрировано в ходе эксперимента, где в замкнутом сверхпроводнике был индуцирован электрический ток, который протекал в нем без затухания в течение 2,5 лет (эксперимент был прерван забастовкой рабочих, подвозивших криогенные жидкости).

● Сверхпроводники в высокочастотном поле

Строго говоря, утверждение о том, что сопротивление сверхпроводников равно нулю справедливо только для постоянного электрического тока. В переменном электрическом поле сопротивление сверхпроводника отлично от нуля и растёт с увеличением частоты поля. Этот эффект на языке двухжидкостной модели сверхпроводника объясняется наличием наравне со сверхпроводящей фракцией электронов также и обычных электронов, число которых, однако, невелико. При помещении сверхпроводника в постоянное поле, это поле внутри сверхпроводника обращается в нуль, поскольку иначе сверхпроводящие электроны ускорялись бы до бесконечности, что невозможно. Однако в случае переменного поля поле внутри сверхпроводника отлично от нуля и ускоряет в том числе и нормальные электроны, с которыми связаны и конечное электрическое сопротивление, и джоулевы тепловые потери. Данный эффект особо ярко выражен для таких частот света, для которых энергии кванта достаточно для перевода сверхпроводящего электрона в группу нормальных электронов. Эта частота обычно лежит в инфракрасной области (около 10^{11} Гц), поэтому в видимом диапазоне сверхпроводники практически ничем не отличаются от обычных металлов.



• Эффект Мейснера

Даже более важным свойством сверхпроводника, чем нулевое электрическое сопротивление, является так называемый эффект Мейснера, заключающийся в выталкивании сверхпроводником магнитного потока $\text{rot}\mathbf{B} = \mathbf{0}$. Из этого экспериментального наблюдения делается вывод о существовании незатухающих токов внутри сверхпроводника, которые создают внутреннее магнитное поле, противоположно направленное внешнему, приложенному магнитному полю и компенсирующее его.

Достаточно сильное магнитное поле при данной температуре разрушает сверхпроводящее состояние вещества. Магнитное поле с напряжённостью H_c , которое при данной температуре вызывает переход вещества из сверхпроводящего состояния в нормальное, называется критическим полем. При уменьшении температуры сверхпроводника величина H_c возрастает. Зависимость величины критического поля от температуры с хорошей точностью описывается выражением

$$H_c(T) = H_{c0} \left(1 - \frac{T^2}{T_c^2}\right),$$

Где H_{c0} — критическое поле при нулевой температуре. Сверхпроводимость исчезает и при пропускании через сверхпроводник электрического тока с плотностью, большей, чем критическая J_c , поскольку он создаёт магнитное поле, большее критического. Разрушение сверхпроводящего состояния под действием магнитного поля отличается у сверхпроводников I и II рода. Для сверхпроводников II рода существует 2 значения критических поля: H_{c1} при котором магнитное поле проникает в сверхпроводник в виде вихрей Абрикосова и H_{c2} - при котором происходит исчезновение сверхпроводимости.

Эффект Литтла - Паркса

В 1962 году учёными Литтлом и Парксом было обнаружено, что температура перехода тонкостенного цилиндра малого радиуса в сверхпроводящее состояние периодически (с периодом равным кванту потока) зависит от величины магнитного потока. Этот эффект является одним из проявлений макроскопической квантовой природы сверхпроводимости.

Изотопический эффект

Изотопический эффект у сверхпроводников заключается в том, что температуры T_c обратно пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего элемента. Как следствие моноизотопные препараты несколько отличаются по критическим температурам от природной смеси и от друг друга.

Момент Лондона

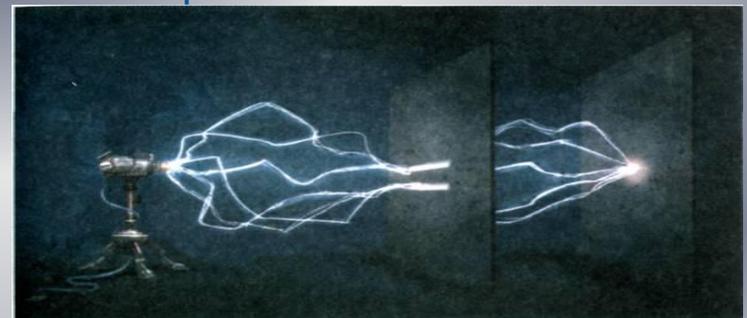
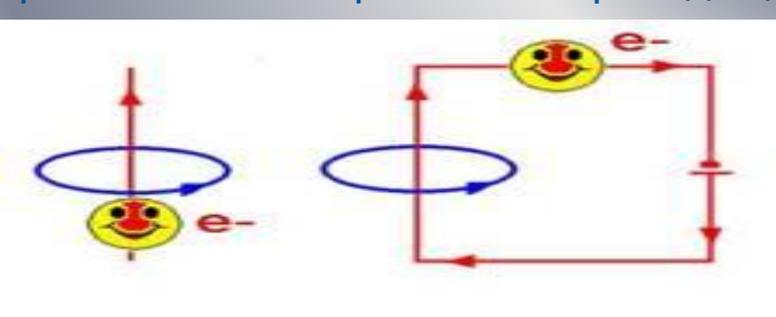
Вращающийся сверхпроводник генерирует магнитное поле, точно выровненное с осью вращения, возникающий магнитный момент получил название «момент Лондона». Он применялся, в частности, в научном спутнике «Gravity Probe B», где измерялись магнитные поля четырёх сверхпроводящих гироскопов, чтобы определить их оси вращения. Поскольку роторами гироскопов служили практически идеально гладкие сферы, использование момента Лондона было одним из немногих способов определить их ось вращения.

Когда сверхпроводник попадает в магнитное поле, это поле проникает в него в виде тонких потоков, называемых вихрями. Вокруг каждого такого вихря возникают электрические токи. Эти вихри тиражируют себя и рассеиваются, когда температура материала возрастает. Поскольку вихри имеют тенденцию прикрепляться к длинным тонким отверстиям в материале, называемым призматическими дефектами, исследователи предположили, что вихри будут вести себя иначе при наличии таких дефектов. И они выяснили: когда вихрей больше, чем отверстий, вихри начинают рассеиваться в два этапа вместо одного, так как температура повышается.

Если удастся задержать процесс рассеивания вихревых потоков, то будет возможно добиться эффекта сверхпроводимости при более высоких температурах.

Квантово-механическая теория

Квантово-механическая теория сверхпроводимости (теория БКШ) рассматривает это явление как сверхтекучесть бозе-эйнштейновского конденсата куперовских пар электронов в металле с присущим сверхтекучести отсутствием трения. Электроны проводимости движутся в сверхпроводнике беспрепятственно — без «трения» о неоднородности кристаллической решетки. Основная особенность сверхпроводников заключается в том, что в них возникает взаимное притяжение электронов с образованием электронных пар (так называемые куперовские пары). Причиной этого притяжения является дополнительное к кулоновскому отталкиванию взаимодействие между электронами, осуществляемое под воздействием кристаллической решётки и приводящее к притяжению электронов



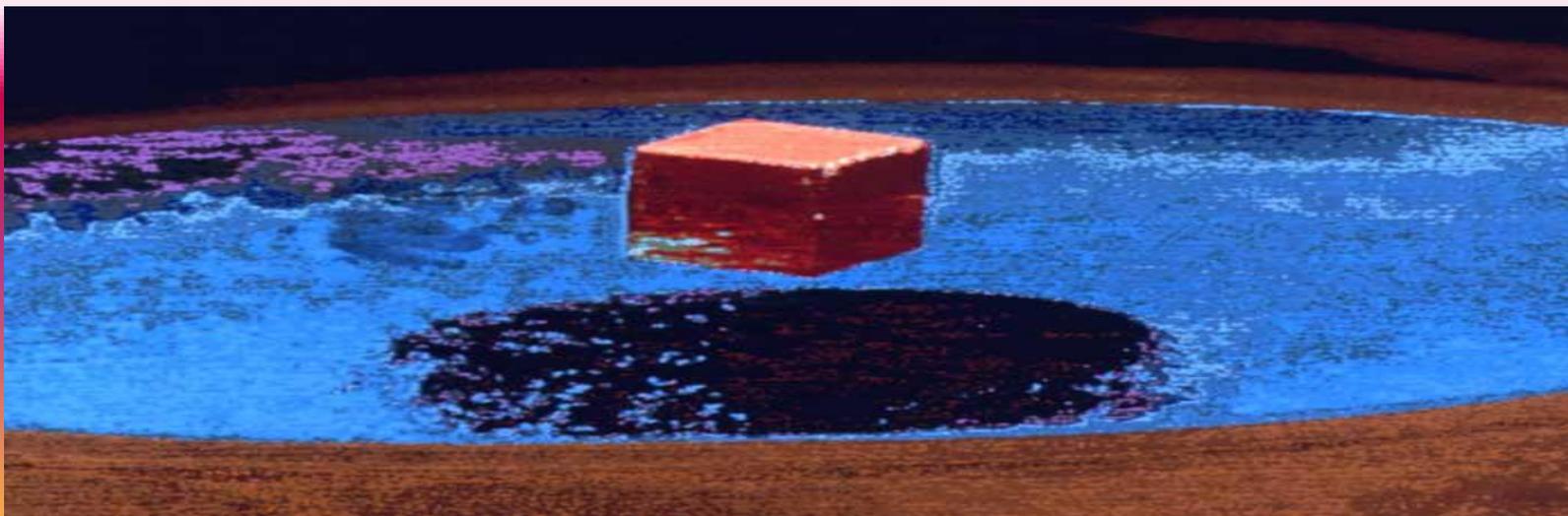
Применение сверхпроводимости

Достигнуты значительные успехи в получении высокотемпературной сверхпроводимости. На базе металлокерамики, например, состава $YBa_2Cu_3O_x$, получены вещества, для которых температура T_c перехода в сверхпроводящее состояние превышает 77 К (температуру сжижения азота). К сожалению практически все высокотемпературные сверхпроводники не технологичны (хрупки, не обладают стабильностью свойств и т.д.), вследствие чего в технике до сих пор применяются в основном сверхпроводники на основе сплавов ниобия. Явление сверхпроводимости используется для получения сильных магнитных полей (например, в циклотронах), поскольку при прохождении по сверхпроводнику сильных токов, создающих сильные магнитные поля, отсутствуют тепловые потери. Однако в связи с тем, что магнитное поле разрушает состояние сверхпроводимости, для получения сильных магнитных полей применяются т. н. сверхпроводники II рода, в которых возможно сосуществование сверхпроводимости и магнитного поля. В таких сверхпроводниках магнитное поле вызывает появление тонких нитей нормального металла, пронизывающих образец, каждая из которых несёт квант магнитного потока (вихри Абрикосова). Вещество же между нитями остаётся сверхпроводящим. Поскольку в сверхпроводнике II рода нет полного эффекта Мейснера, сверхпроводимость существует до гораздо больших значений магнитного поля H_{c2} . В технике применяются, в основном, следующие сверхпроводники:

Вещество	T_c , К	H_{c2} , Э, при 4,2 К
Nb_xTi_{1-x} ($x \approx 0,5$)	8 — 10	90 000 — 130 000
V_3Ga	14,5	220 000
Nb_3Sn	18	230 000
V_3Si	17	230 000
Nb_3Ga	20,3	340 000
$Nb_3Al_{0,7}Ge_{0,3}$	20,7	370 000
Nb_3Ge	24	400 000

Промышленные применения.

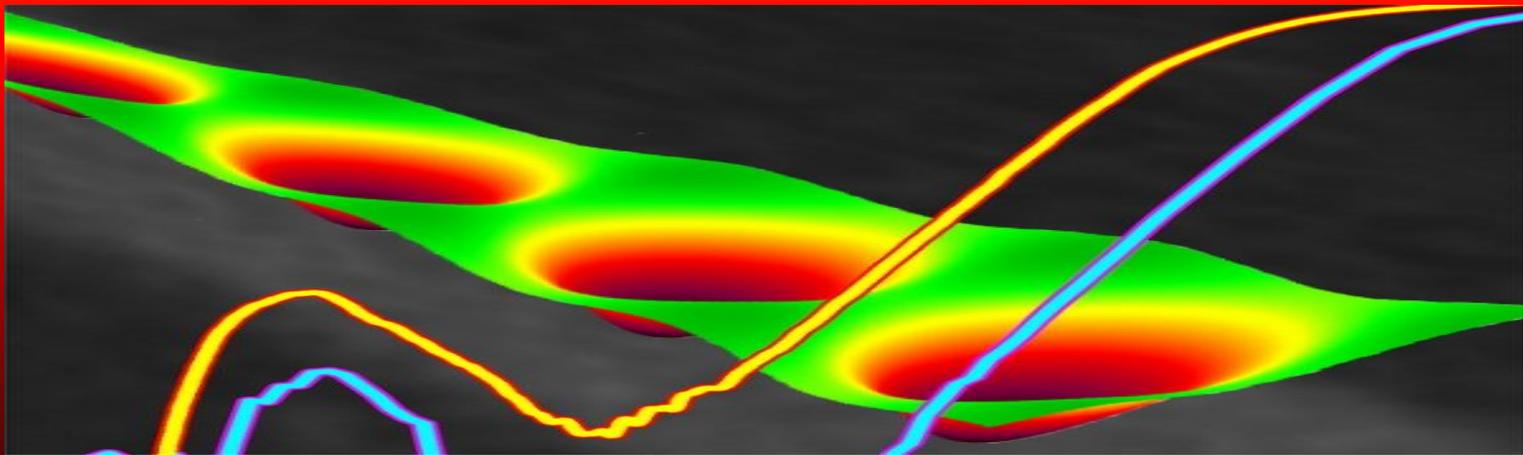
Наиболее интересные возможные промышленные применения сверхпроводимости связаны с генерированием, передачей и использованием электроэнергии. Например, по сверхпроводящему кабелю диаметром несколько дюймов можно передавать столько же электроэнергии, как и по огромной сети ЛЭП, причем с очень малыми потерями или вообще без них. Стоимость изготовления изоляции и охлаждения криопроводников должна компенсироваться эффективностью передачи энергии. С появлением керамических сверхпроводников, охлаждаемых жидким азотом, передача электроэнергии с применением сверхпроводников становится экономически очень привлекательной. Еще одно возможное применение сверхпроводников - в мощных генераторах тока и электродвигателях малых размеров. Обмотки из сверхпроводящих материалов могли бы создавать огромные магнитные поля в генераторах и электродвигателях, благодаря чему они были бы значительно более мощными, чем обычные машины. Опытные образцы давно уже созданы, а керамические сверхпроводники могли бы сделать такие машины достаточно экономичными. Рассматриваются также возможности применения сверхпроводящих магнитов для аккумулирования электроэнергии, в магнитной гидродинамике и для производства термоядерной энергии. Инженеры давно уже задумывались о том, как можно было бы использовать огромные магнитные поля, создаваемые с помощью сверхпроводников, для магнитной подвески поезда (магнитной левитации). За счет сил взаимного отталкивания между движущимся магнитом и током, индуцируемым в направляющем проводнике, поезд двигался бы плавно, без шума и трения и был бы способен развивать очень большие скорости. Экспериментальные поезда на магнитной подвеске в Японии и Германии достигли скоростей, близких к 300 км/ч.



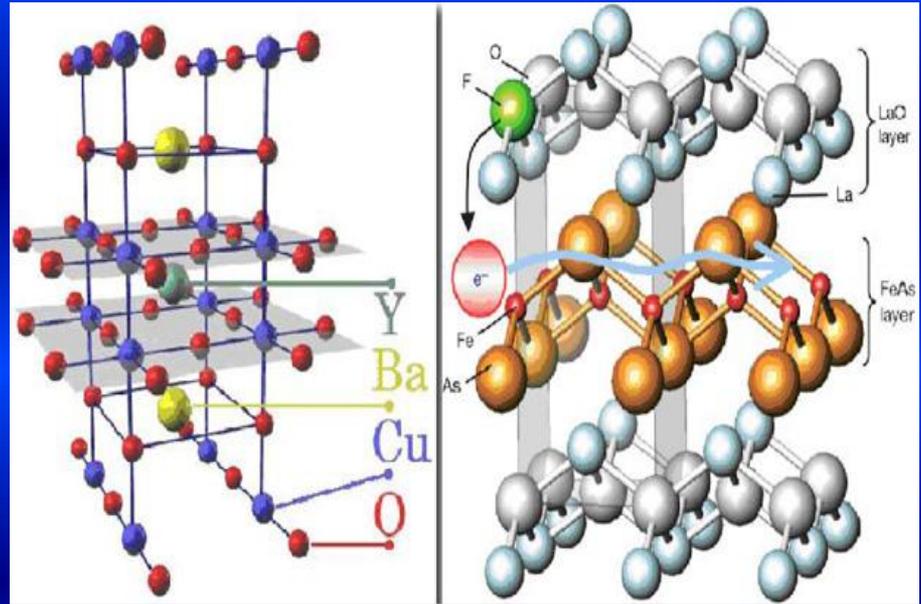
Сверхпроводящие приложения

Первым промышленным применением сверхпроводимости было создание сверхпроводящих магнитов с высокими критическими полями. Доступные сверхпроводящие магниты позволили получить к середине 1960-х годов магнитные поля выше 100 кГс даже в небольших лабораториях. Ранее создание таких полей с помощью обычных электромагнитов требовало очень больших количеств электроэнергии для поддержания электрического тока в обмотках и огромного количества воды для их охлаждения. Следующее практическое применение сверхпроводимости относится к технике чувствительных электронных приборов.

Экспериментальные образцы приборов с контактом Джозефсона могут обнаруживать напряжения порядка 10-15 Вт. Магнитометры, способные обнаруживать магнитные поля порядка 10^{-9} Гс, используются при изучении магнитных материалов, а также в медицинских магнитокардиографах. Чрезвычайно чувствительные детекторы вариаций силы тяжести могут применяться в различных областях геофизики. Техника сверхпроводимости и особенно контакты Джозефсона оказывают все большее влияние на метрологию. С помощью джозефсоновских контактов создан стандарт 1 В. Был разработан также первичный термометр для криогенной области, в которой резкие переходы в некоторых веществах используются для получения реперных (постоянных) точек температуры. Новая техника используется в компараторах тока, для измерений радиочастотной мощности и коэффициента поглощения, а также для измерений частоты. Она применяется также в фундаментальных исследованиях, таких, как измерение дробных зарядов атомных частиц и проверка теории относительности. Сверхпроводимость будет широко использоваться в компьютерных технологиях. Здесь сверхпроводящие элементы могут обеспечивать очень малые времена переключения, ничтожные потери мощности при использовании тонкопленочных элементов и большие объемные плотности монтажа схем. Разрабатываются опытные образцы тонкопленочных джозефсоновских контактов в схемах, содержащих сотни логических элементов и элементов памяти.



Надо надеяться, что удастся создать сверхпроводники при комнатной температуре. Генераторы и электродвигатели станут исключительно компактными и экономичными. Электроэнергию можно будет передавать на любые расстояния без потерь и аккумулировать в простых устройствах. Многие металлы и сплавы при температурах ниже 25 К полностью теряют сопротивление - становятся сверхпроводниками. В 1986 были открыты высокотемпературные сверхпроводники, у которых T_K выше температуры жидкого азота, равной 77 К.



Ссылки на используемые сайты и литературу

1-Боголюбов Н. Н., Толмачев В. В., Ширков Д. В. Новый метод в теории сверхпроводимости. — М.: Изд-во АН СССР, 1958.

2-В. Л. Гинзбург, Е. А. Андрюшин. Сверхпроводимость. — М.: Альфа-М, 2006.

3-http://elementy.ru/images/news/structure_ybacuo_vs_laofeas_618.jpg

4-http://www.krugosvet.ru/images/1002326_O554.jpg

5-<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%E2%E5%F0%F5%EF%F0%EE%E2%EE%E4>