

## Тема : Сверхпроводимость

### Цели обучения:

10.4.3.2 - обсуждать перспективы получения высокотемпературных сверхпроводящих материалов;

### Цели урока:

- Перечислить свойства сверхпроводимости
- Описать применение сверхпроводимых материалов в технике
- Анализировать ограничение сверхпроводимости - проблема отсутствия сопротивления при комнатной температуре.

## Критерии успеха

### Студенты могут:

- ❖ Знать общие свойства сверхпроводимости
- ❖ График зависимости сопротивления от температуры
- ❖ Определить факторы, которые нарушают сверхпроводимость
- ❖ Уметь цитировать различные применения сверхпроводимости
- ❖ Уметь понимать проблему отсутствия сопротивления при комнатной температуре.

# Что такое сверхпроводники?

- *Что приходит на ум, когда вы слышите термин «сверхпроводники»?*
- Сверхпроводник - это материал, обладающий почти нулевым удельным сопротивлением и ведущий себя как диамагнит ниже температуры сверхпроводящего перехода.
- Сверхпроводимость - это протекание электрического тока без сопротивления в определенных металлах, сплавах и керамике при температурах, близких к абсолютному нулю, а в некоторых случаях при температурах, превышающих сотни градусов выше абсолютного нуля =  $-273^{\circ}\text{K}$ .

# **Исследователь сверхпроводимости**

Сверхпроводимость была впервые обнаружена в 1911 году голландским физиком Хайке Камерлинг-Оннесом.



## Открытие

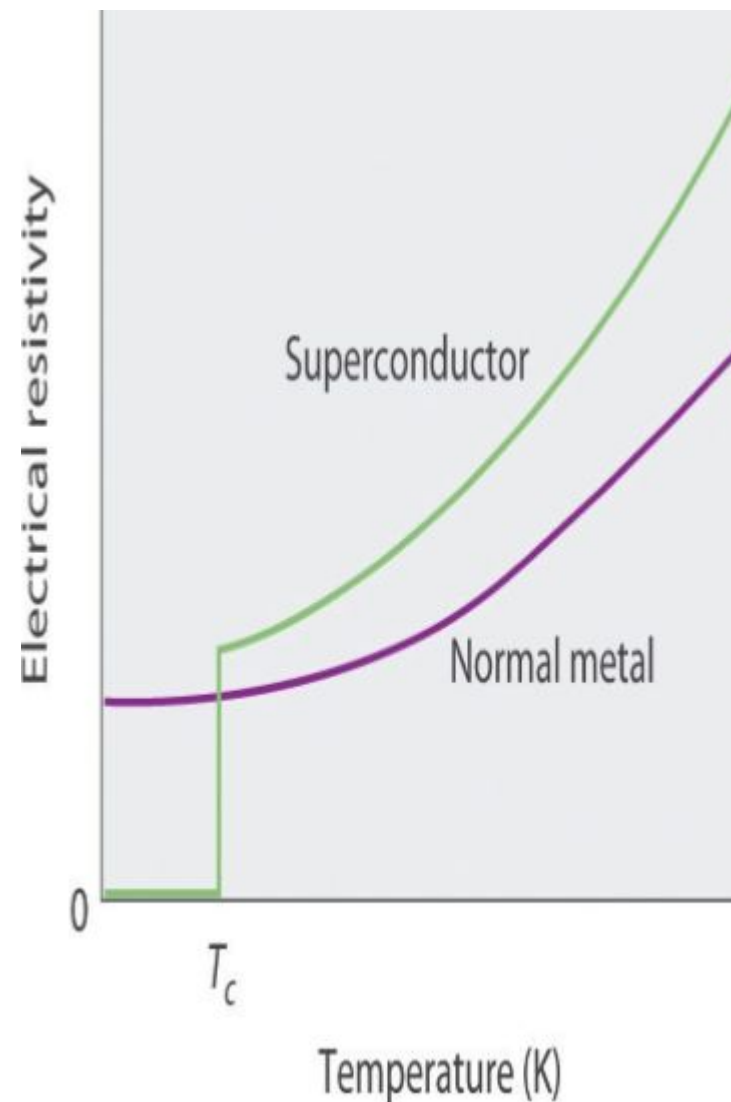
- ❖ Оннес знал, что сопротивление холодной проволоки рассеется. Это предполагает, что будет иметь место постоянное снижение электрического сопротивления, что позволит лучше проводить электричество.
- ❖ В некоторой точке очень низкой температуры ученые знали, что будет выравнивание, поскольку сопротивление достигло некоторого определенного минимального значения, позволяющего току течь с небольшим сопротивлением или вообще без него.
- ❖ Оннес пропустил ток через очень чистый ртутный провод и измерил его сопротивление, пока он неуклонно понижал температуру. К его удивлению, сопротивления на 4.2K не было.

## ОБЩИЕ СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДНИКОВ

- ❖ Практически нулевое электрическое сопротивление.
- ❖ Совершенное диамагнитное свойство.
- ❖ Критическое поле зависит от температуры сверхпроводящего материала.
- ❖ Эффект сильного тока разрушает свойства сверхпроводимости.
- ❖ При очень высоком давлении  $T_c$  прямо пропорционально давлению.
- ❖  $T_c$  обратно пропорционален корню квадратному из  $A_t \cdot w_t$  изотопа одного сверхпроводника.

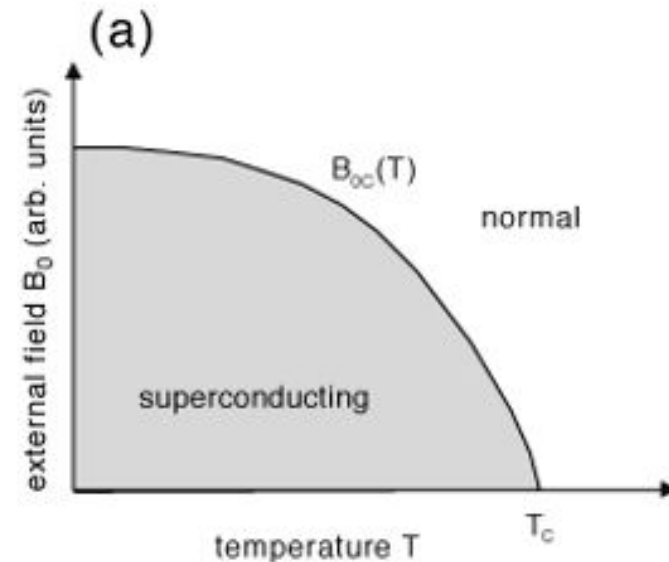
## Удельное электрическое сопротивление в зависимости от температуры для сверхпроводников и нормальных металлов

Из рисунка видно, что удельное электрическое сопротивление нормального металла неуклонно уменьшается по мере снижения температуры и достигает низкого значения при 0 К, называемого остаточным удельным сопротивлением.



Критическое магнитное поле ( $H_c$ ) Выше этого значения внешнего магнитного поля сверхпроводник становится несверхпроводящим. Это минимальное магнитное поле, необходимое для разрушения сверхпроводящего состояния, называется критическим магнитным полем  $H_c$

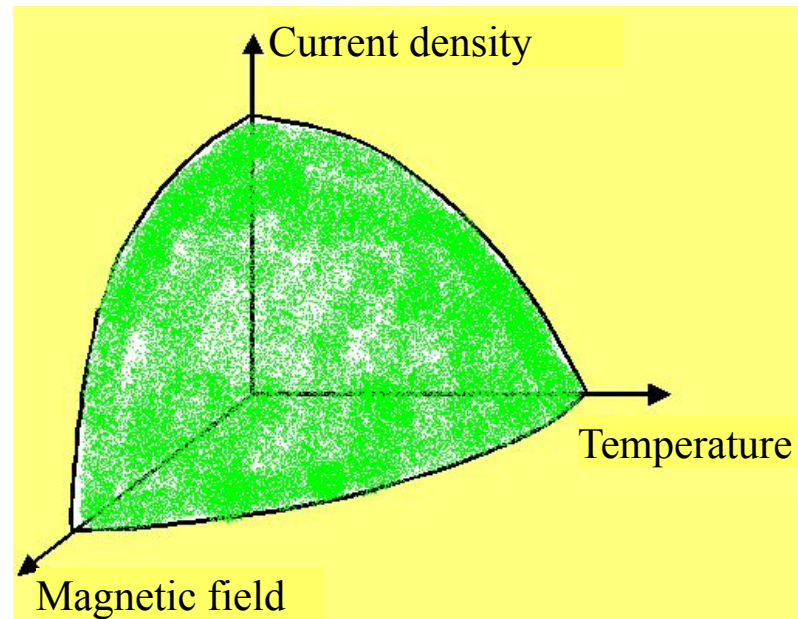
$$H_c = H_0 [1 - (T/T_c)^2]$$





## Что разрушает сверхпроводимость?

**Ток:** создает магнитное поле, которое в свою очередь разрушает сверхпроводимость.



**Магнитное поле:** спины С-Р будут направлены параллельно.

(должно быть антипараллельно в С-Р)

**Высокие температуры:** сильные тепловые колебания решетки преобладают над электрон-фононным взаимодействием.

# СВЕРХПРОВОДНИКИ ВЫСОКОЙ $T_c$

## Низкие $T_c$ Сверхпроводники

- ❖ Сверхпроводники, которым требуется жидкий гелиевый теплоноситель, называются низкотемпературными сверхпроводниками.
- ❖ Температура жидкого гелия на 4,2 К выше абсолютного нуля

## Высокотемпературные сверхпроводники

- ❖ Сверхпроводники, имеющие значения  $T_c$  выше температуры жидкого азота (77 К), называются высокотемпературными сверхпроводниками

## ПРЕИМУЩЕСТВА

- Может нести большое количество энергии без потери тепла.
- Способен генерировать сильные магнитные поля.
- Сверхпроводники полезны для применения в технике медицинской визуализации.
- Новые сверхпроводящие пленки могут привести к миниатюризации.
- Сверхпроводники увеличили скорость в компьютерных чипах.

## НЕДОСТАТКИ

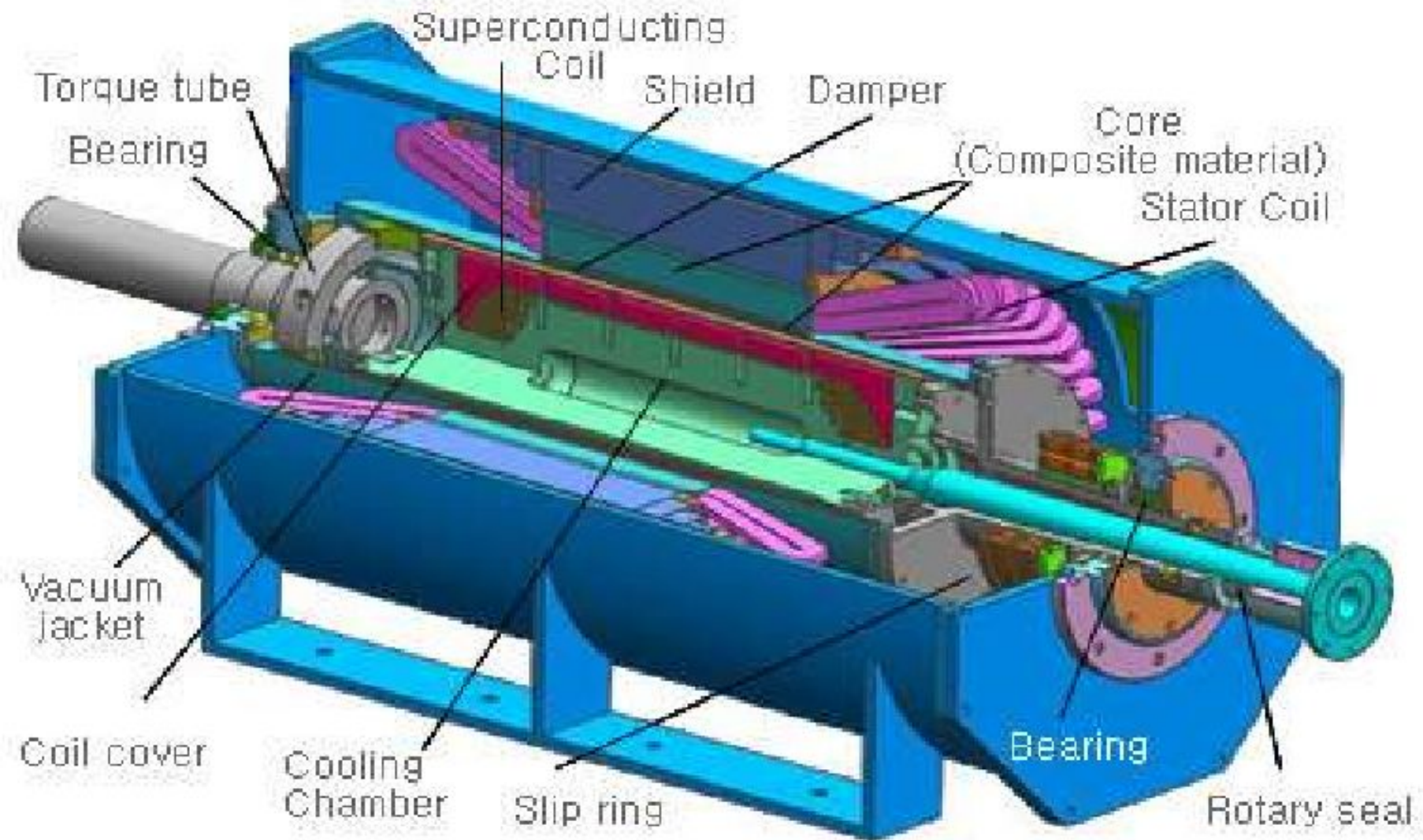
- Сверхпроводящие материалы проводят ток только при заданной температуре, известной как температура перехода.
- Сверхпроводники все еще не обнаруживаются в большинстве бытовых электронных устройств.

# **ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ**

- ❖ Супер проводящий генератор
- ❖ Сверхпроводящие кабели линии электропередачи
- ❖ Сверхпроводящая система накопления магнитной энергии (SMES)

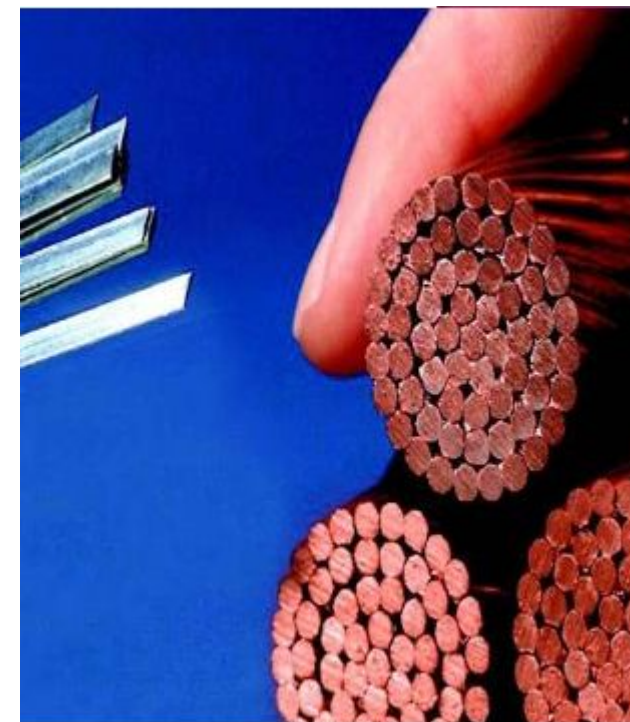
# СУПЕРПРОВОДЯЩИЙ ГЕНЕРАТОР

- ❖ Преобразует механическую в электрическую энергию.
- ❖ Создается собственное магнитное поле.
- ❖ Ток и плотность потока определяют выход.
- ❖ Обмотка поля создает более высокое магнитное поле.
- ❖ Сверхпроводники имеют чрезвычайно высокую пропускную способность по току.



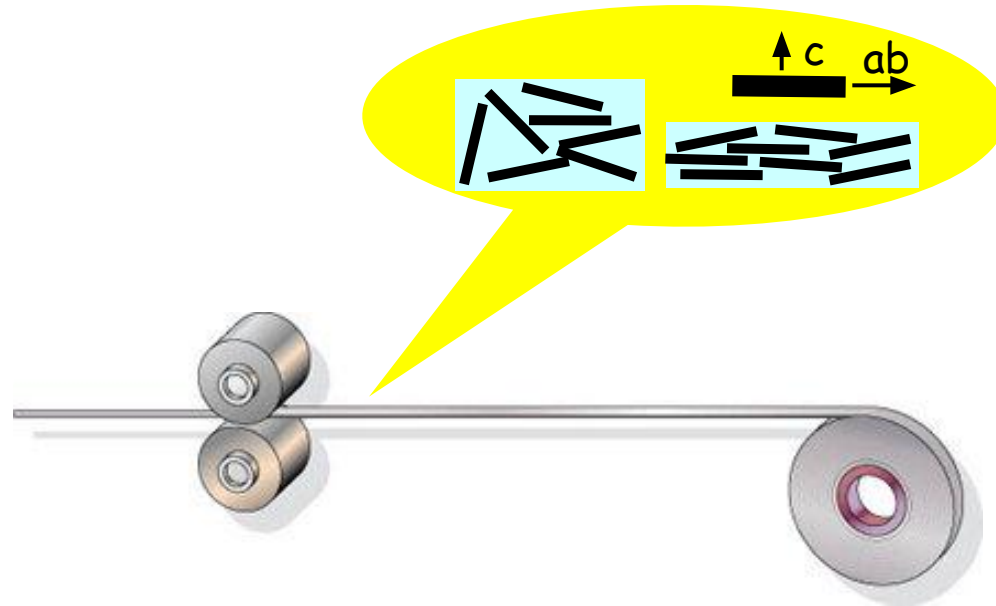
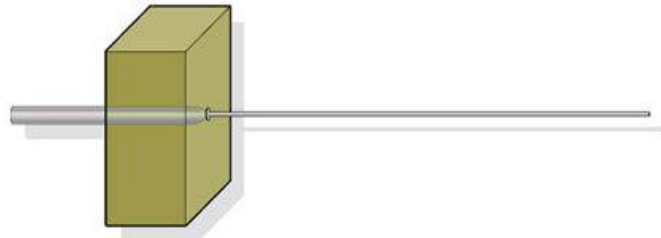
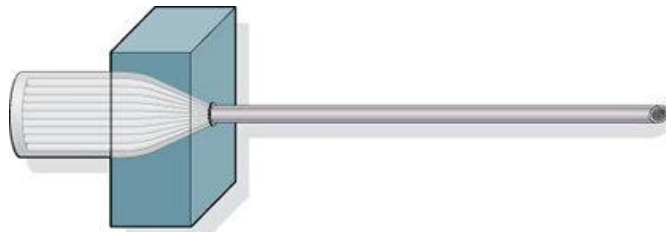
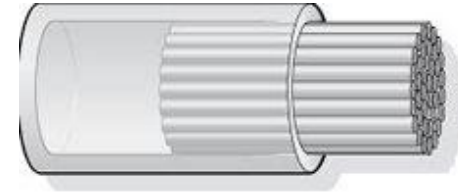
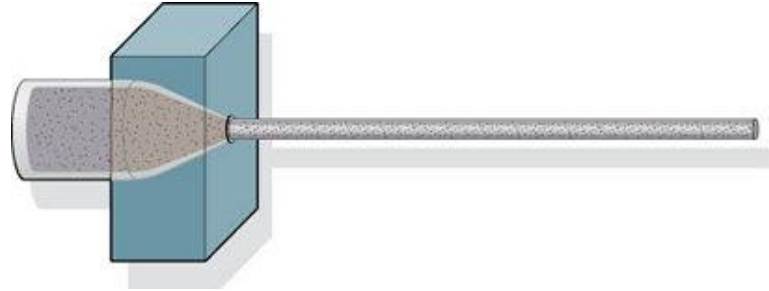
# Сверхпроводящие КАБЕЛИ ТРАНСМИССИОННОЙ ЛИНИИ

- ❖ Обеспечивает нулевое сопротивление.
- ❖ Из-за НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ происходит передача высокого тока.
- ❖ МАЛЕНЬКИЙ физический размер.
- ❖ Снижение клиренса для терминальных факультетов.
- ❖ Быстрое восстановление после сбоя.
- ❖ Перегрузочная способность.

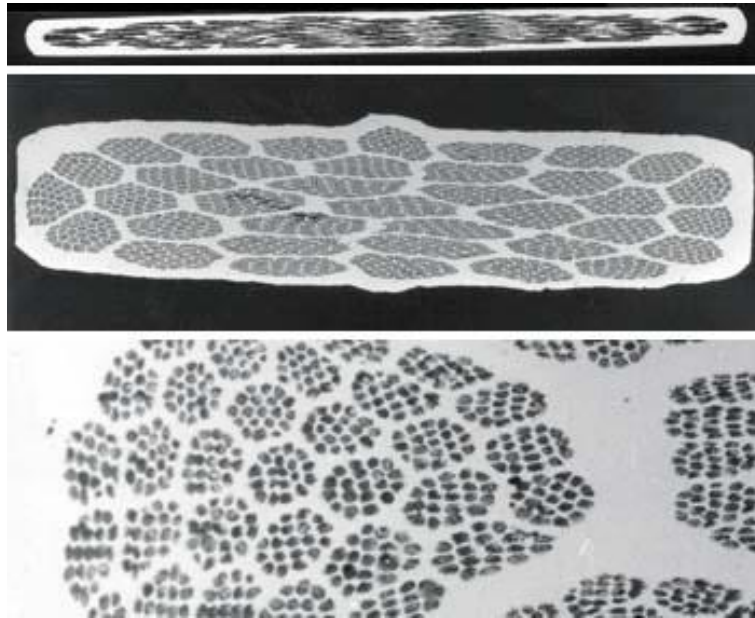




# Применения в проводах и лентах.

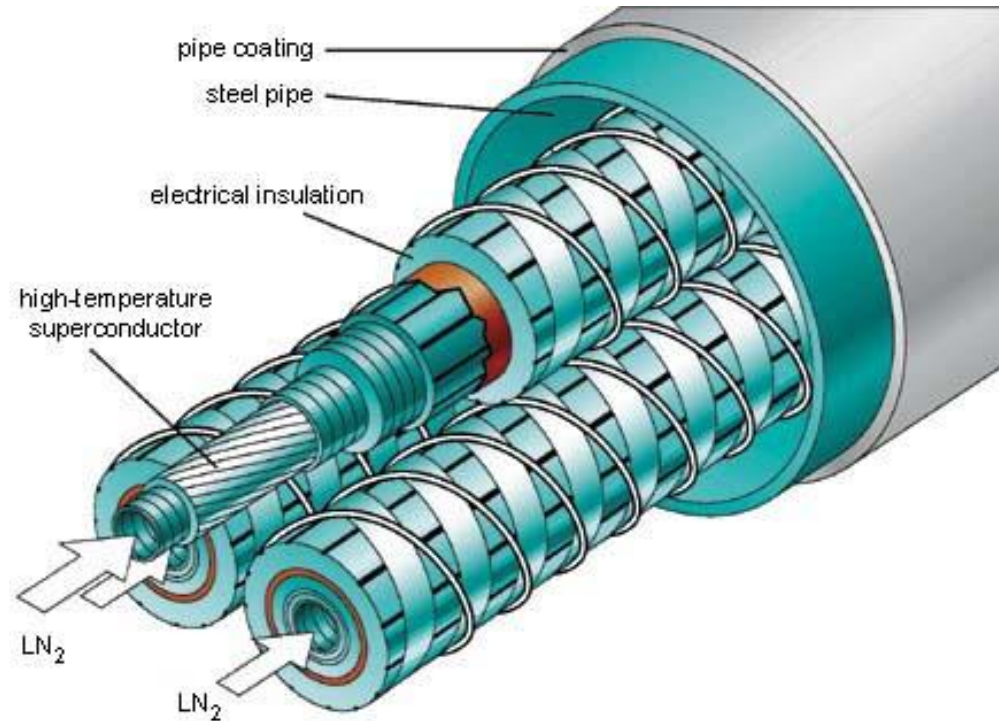


# Применения в проводах и лентах.



Поперечное сечение  
полосы НТС

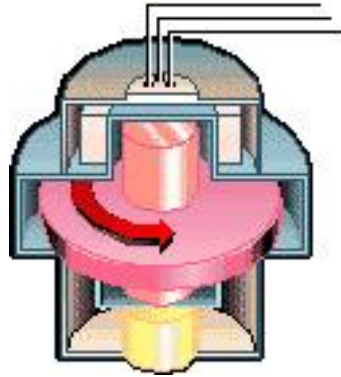
Американская  
сверхпроводниковая  
корпорация



HT<sub>c</sub> Cable

# Применение в промышленности

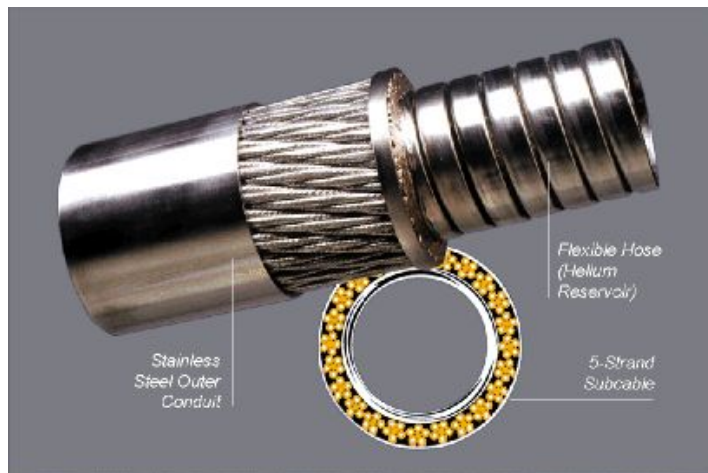
## Магнитный подшипник



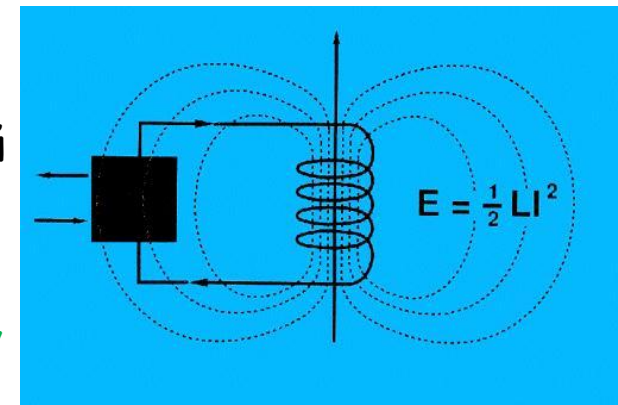
**Маховик** в вакуумной камере - аккумулятор энергии.



MagLev - поезд  
(магнитная левитация))



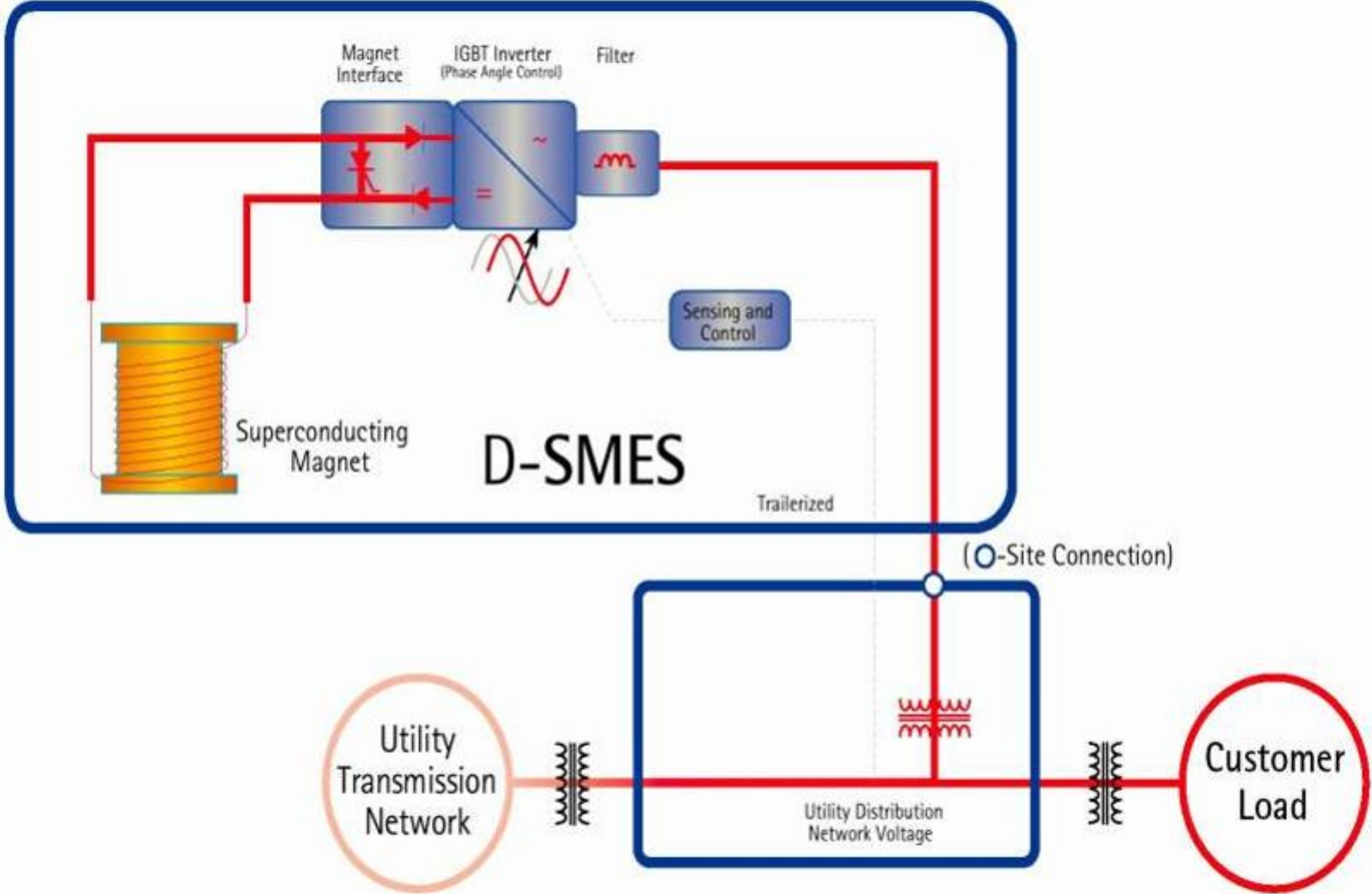
SMES:  
Сверхпроводящее  
накопление магнитной  
энергии  
Экономит энергию в  
виде магнитного поля,  
создаваемого  
сверхпроводящей  
катушкой.



# Сверхпроводящая МАГНИТНАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ (SMES)

- ❖ Токпроводящий провод генерирует магнитное поле.
- ❖ Сверхпроводящие соленоиды, изготовленные путем обмотки сверхпроводящего провода в катушке, функционально превосходят обычные соленоиды.
- ❖ Нулевое постоянное электрическое сопротивление.
- ❖ Нет резистивных потерь.

# STANDBY MODE







**СУПЕРПРОВОДЯЩИЙ  
СПИКЕР**



**СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ ТРУБА  
ПРЯМОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ  
СОЛНЕЧНОЙ ВОДЯНОЙ  
НАГРЕВАТЕЛЬ**



**МАГНИТНО-  
ЛЕВИТАЦИОННЫЕ  
ПОЕЗДЫ**