

4.5. Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Эффект Джозефсона

В общем случае явление сверхпроводимости означает потерю материалом электрического сопротивления. Сверхпроводимость - коллективный квантовый эффект. Для ее возникновения требуются очень низкие температуры; для каждого вещества существует своя критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние. Самое «высокотемпературное» вещество (сплав ниобия с германием и алюминием) имеет критическую температуру $T_k=20^\circ\text{K}$; однако надежды на создание сплавов с более высокой критической температурой не потеряны.

Основные методы обнаружения сверхпроводимости и фиксации критической температуры - падение до нуля разности потенциалов на сверхпроводнике, включенном в цепь, или же возникновение незатухающего тока в сверхпроводящем кольце. Сверхпроводящее состояние при температурах, меньших критической, может быть разрушено магнитным полем, внешним или собственным (т.е. созданным током в сверхпроводнике). Каждой температуре соответствует вполне определенное критическое значение магнитного поля.

Если магнитное поле меньше критического, то оно не проникает внутрь сверхпроводника, затрагивая лишь тонкий поверхностный слой. Если проводник переходит (при снижении температуры) в сверхпроводящее состояние в магнитном поле, то магнитное поле выталкивается из проводника из-за появления в поверхностном слое круговых незатухающих токов (эффект Мейснера). Отметим, что переход в сверхпроводящее состояние (в отсутствие магнитного поля) обычно не меняет механических и оптических свойств металла в присутствии магнитного поля может иметь место изменение характера магнитооптических явлений (см. раздел «Магнитооптические явления»).

Одним из интереснейших эффектов, связанных со сверхпроводимостью, является эффект Джозефсона (1962).

Если разрезать сверхпроводник поперек и уменьшить щель до нескольких ангстрем ($1 \text{ ангстрем} = 10^{-8} \text{ см}$), то через эту щель будет протекать постоянный ток, хотя падение напряжения на всем сверхпроводнике равно нулю. Существование такого тока обусловлено так называемым «туннельным эффектом» носителей тока в сверхпроводнике. При некоторых условиях при протекании «сверхпроводящего» тока через щель разность потенциалов становится отличной от нуля, но при этом ток начинает осциллировать с весьма большой частотой; из общих законов электродинамики следует, что при этом должно возникнуть электромагнитное излучение, что и наблюдалось в действительности. Соединения Джозефсона очень перспективны, так как являются простыми и довольно дешевыми источниками когерентного монохроматического излучения миллиметрового диапазона.

Несмотря на жесткие температурные ограничения, явление сверхпроводимости широко используется - в технике, особенно в технике физических экспериментов, (сверхмощные магниты, криотроны, сверхпроводящие гироскопы). Ведутся исследования по созданию сверхпроводящих линий электропередачи (см. Кресин В.З., Сверхпроводимость и сверхтекучесть, М., 1968).

Пример

Патент США 3554034:

Сверхпроводящая сфера поддерживается на весу с помощью обмотки с током. Отклонения сферы от положения равновесия, изменениями в силе тяжести, определяются оптически. При появлении сигнала на выходе детектора в другой

обмотке, окружающей сферу, появляется ток. Этот ток возбуждает магнитное поле, которое создает силу, возвращающую сферу в положение равновесия. Определение изменений силы тяжести осуществляется путем изменения величины указанного тока. (См. раздел «Вихревые токи». Само явление «выталкивания» обусловлено возникновением вихревых токов).

А.с. 240844:

Устройство для получения сверхсильных магнитных полей, представляющее собой охлажденный соленоид из несверхпроводящего материала, отличается тем, что, с целью повышения напряженности магнитного поля, снижение себестоимости и потребления электроэнергии, снаружи соленоида расположен в криостате с рабочим объемом вне криостата сверхпроводящей соленоид.

А.с. 286859:

Сверхпроводящий магнитометр, содержащий сверхпроводниковый усилитель и входную сверхпроводящую катушку,

отличающийся тем, что, с целью расширения диапазона измерений напряженности магнитного поля в сторону сильных магнитных полей,

сверхпроводниковый усилитель расположен в дополнительной сверхпроводящей катушке и помещен внутри замкнутого сверхпроводящего экрана.

Патент США 3626391:

Запоминающая матрица выполнена на запоминающих элементах, содержащих туннельные вентили (вентили туннельных криотронов) с использованием тока Джозефсона. Каждый запоминающий элемент состоит из двух устройств на основе эффекта Джозефсона, каждое из которых находится в отдельной ветви элемента. Предусмотрены также возбуждающие дешифраторы, использующие устройства на основе эффекта Джозефсона, для коммутации тока по различным шинам матрицы, связанные с запоминающими элементами. Направление тока, протекающего и запоминающем элементе, определяет его двоичное состояние.