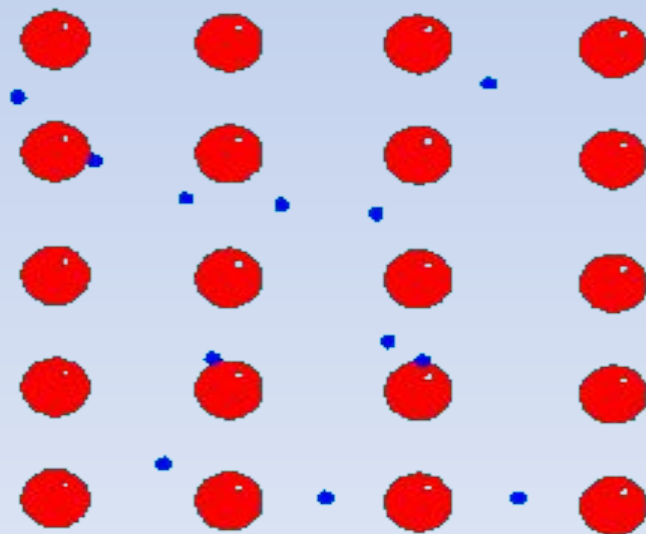


ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

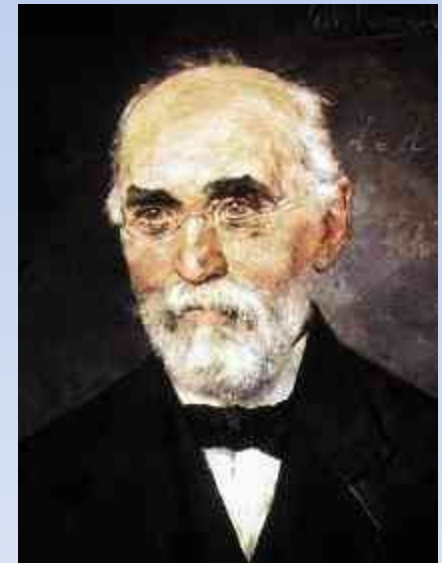


ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ ПРОВОДИМОСТИ

В начале XX века была создана классическая электронная теория проводимости металлов (П. Друде, 1900 г., Х. Лоренц, 1904 г.), которая дала простое и наглядное объяснение большинства электрических и тепловых свойств металлов.



Пауль Друде
Карл Людвиг —
немецкий физик



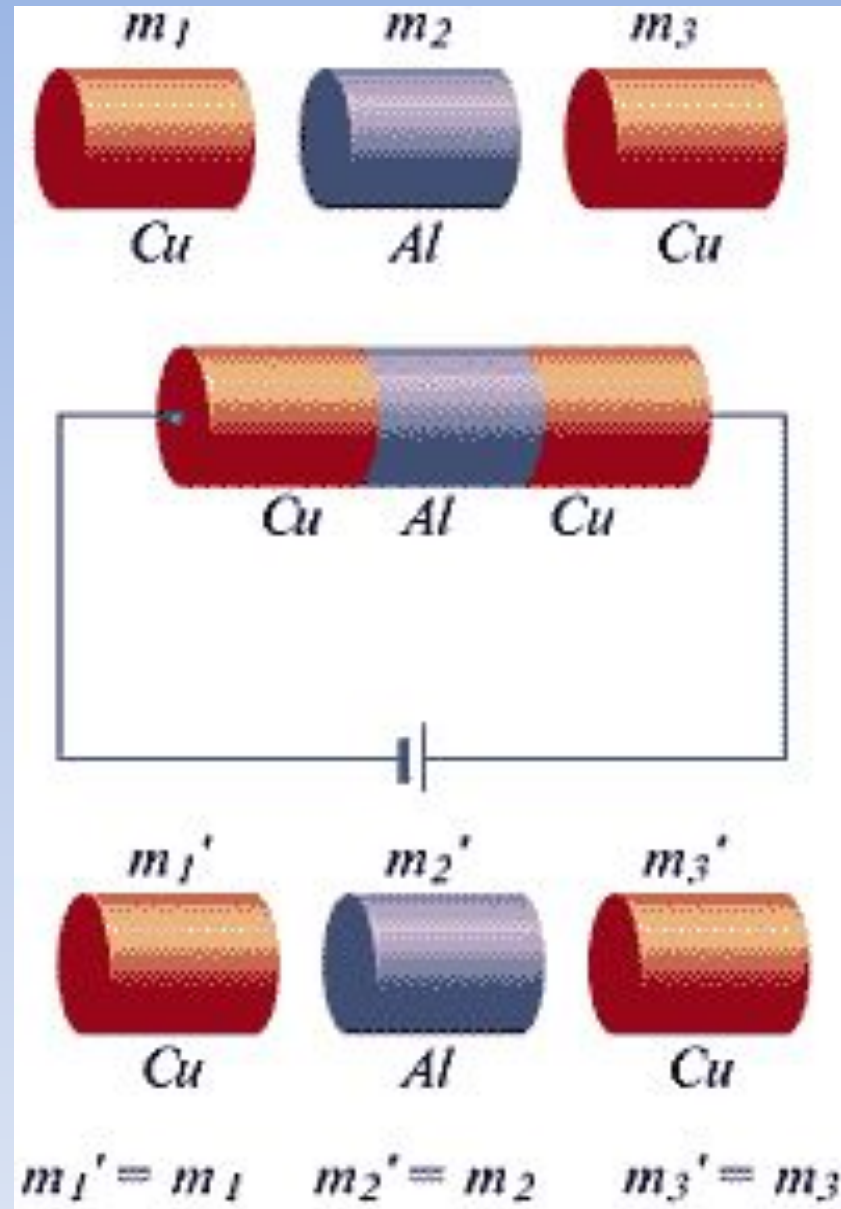
Хендрик Антон
Лоренц- голландский
физик

Классическая электронная теория Друде - Лоренца.

- 1) *Движение электронов подчиняется законам классической механики.*
- 2) *Электроны друг с другом не взаимодействуют.*
- 3) *Электроны взаимодействуют только с ионами кристаллической решётки, взаимодействие это сводится к соударению.*
- 4) *В промежутках между соударениями электроны движутся свободно.*
- 5) *Электроны проводимости образуют «электронный газ», подобно идеальному газу. «Электронный газ» подчиняется законам идеального газа.*
- 6) *При любом соударении электрон передаёт всю накопленную энергию.*

Электрический ток в металлах

Ионы кристаллической решетки металла не принимают участие в создании тока. Их перемещение при прохождении тока означало бы перенос вещества вдоль проводника, что не наблюдается. Например, в опытах Э. Рикке (1901 г.) масса и химический состав проводника не изменялся при прохождении тока в течение года.



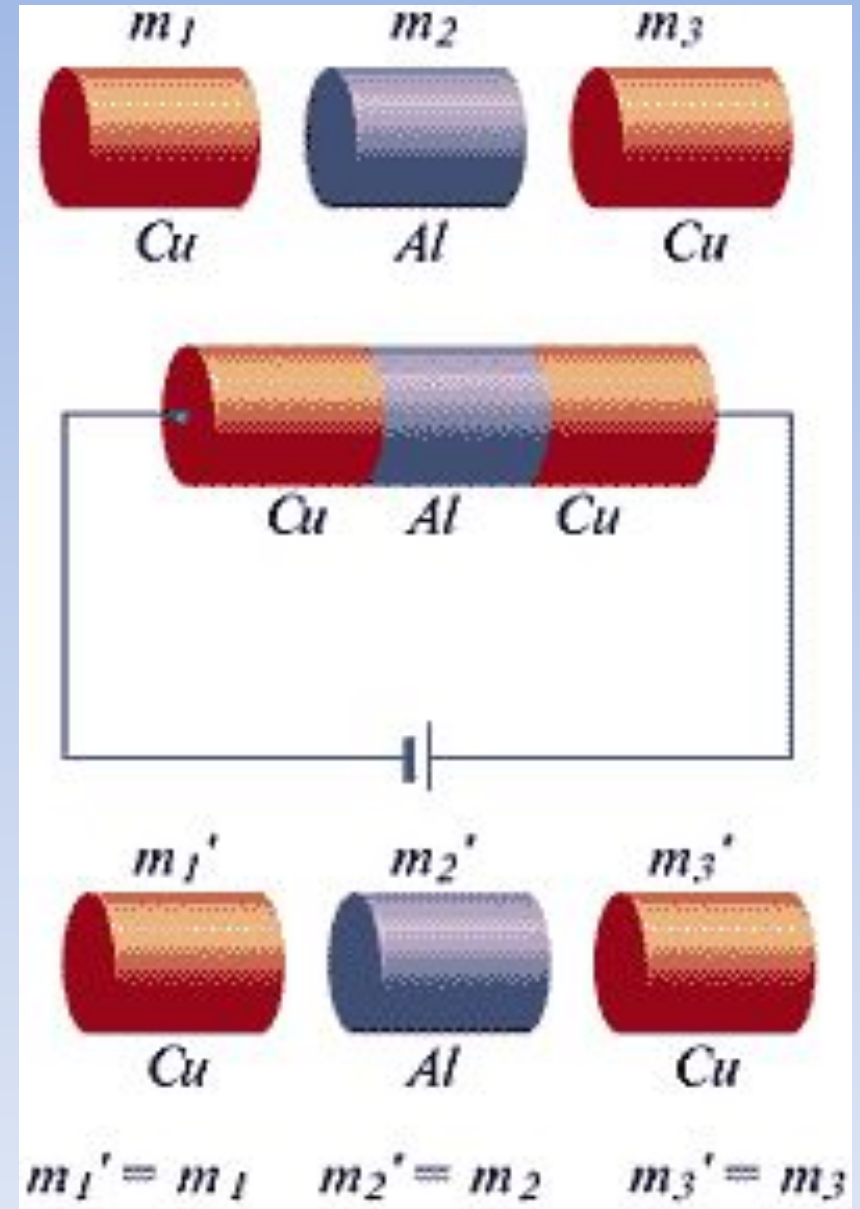
Опыт Рикке

1901 г.

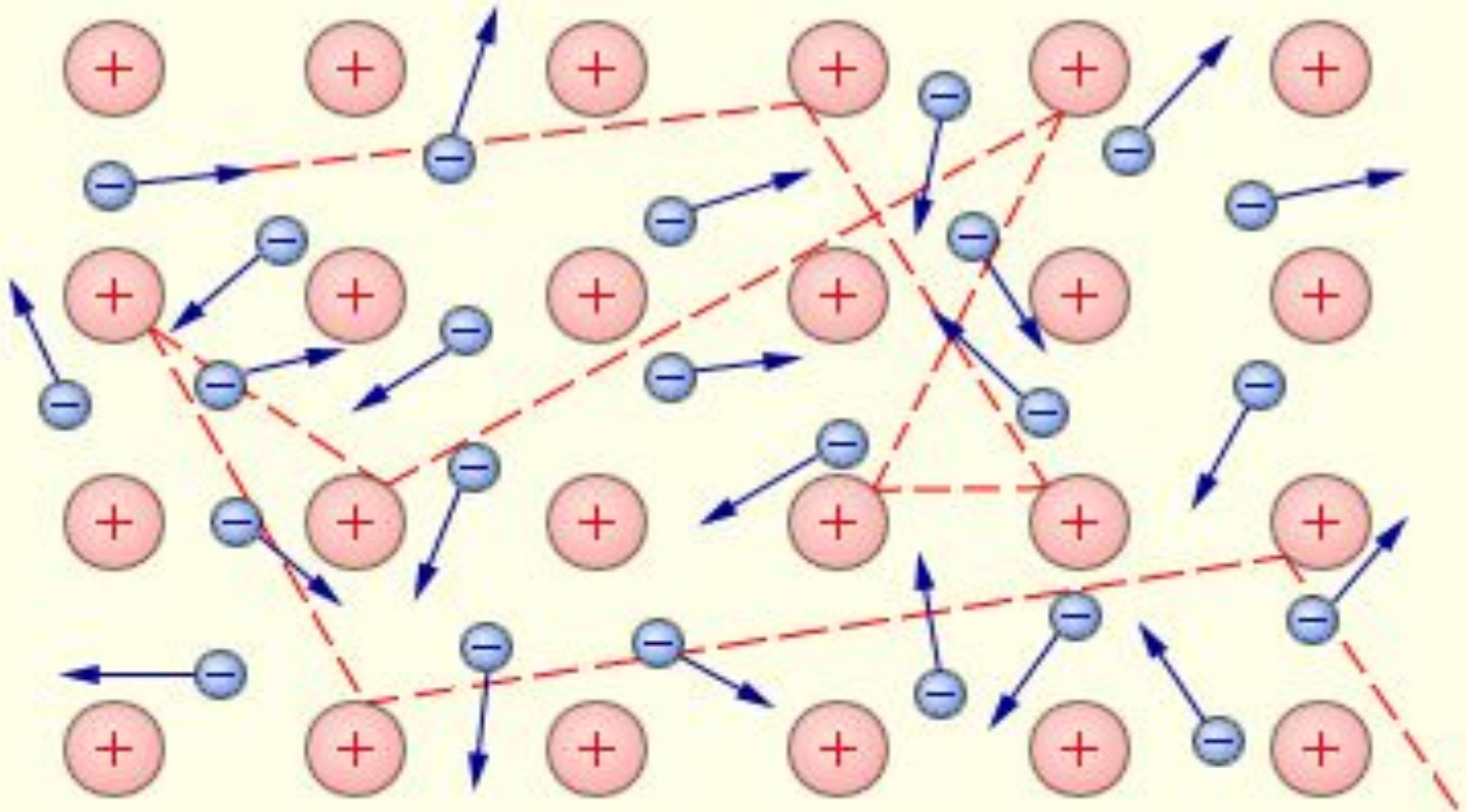
Вывод:

Не происходит переноса вещества =>

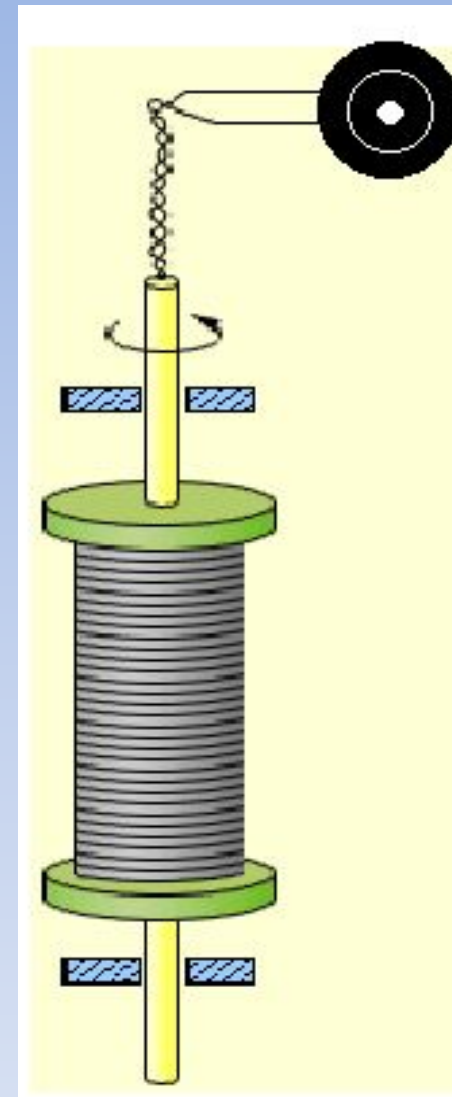
- 1) Ионы металла не принимают участия в переносе электрического заряда.
- 2) Носители заряда - частицы, входящие в состав всех металлов



Электроны взаимодействуют не друг с другом, а с ионами кристаллической решётки. При каждом соударении электрон передаёт свою кинетическую энергию.

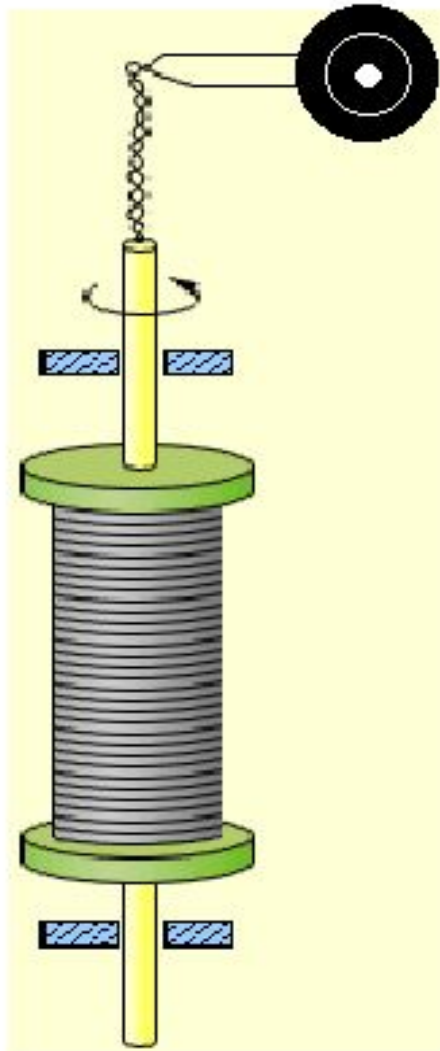


Экспериментальное доказательство того, что ток в металлах создается свободными электронами, было дано в опытах Л.И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси (1913 г., результаты не были опубликованы), а также Т. Стюарта и Р. Толмена (1916 г.). Они обнаружили, что при резкой остановке быстро вращающейся катушки в проводнике катушки возникает электрический ток, создаваемый отрицательно заряженными частицами — электронами.



Опыт Мандельштама и Папалекси

1913 г.

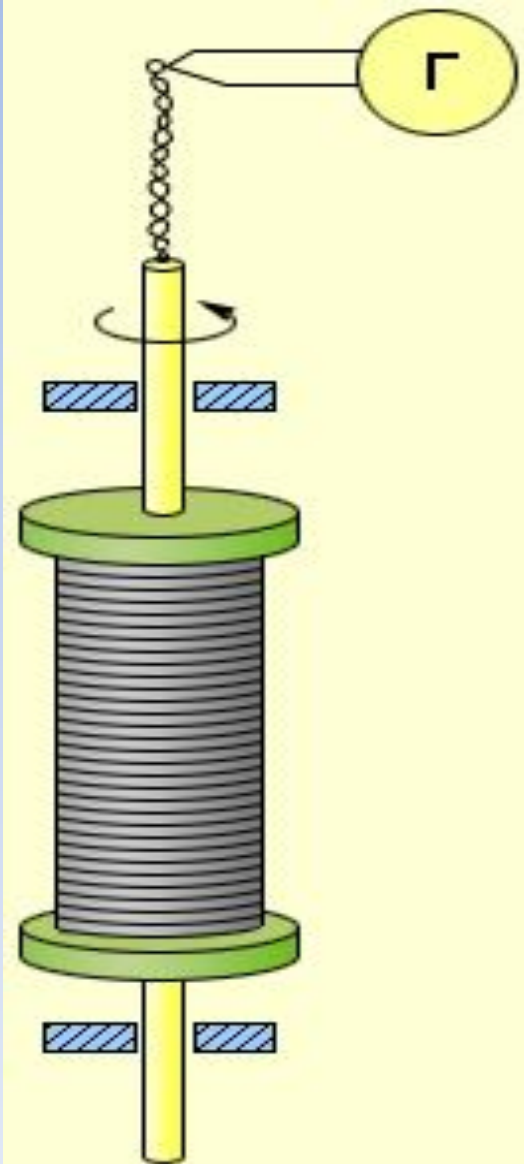


T

- **Вывод:**
- Носители электрического заряда движутся по инерции

Опыт Толмена и Стюарта

1916 г.



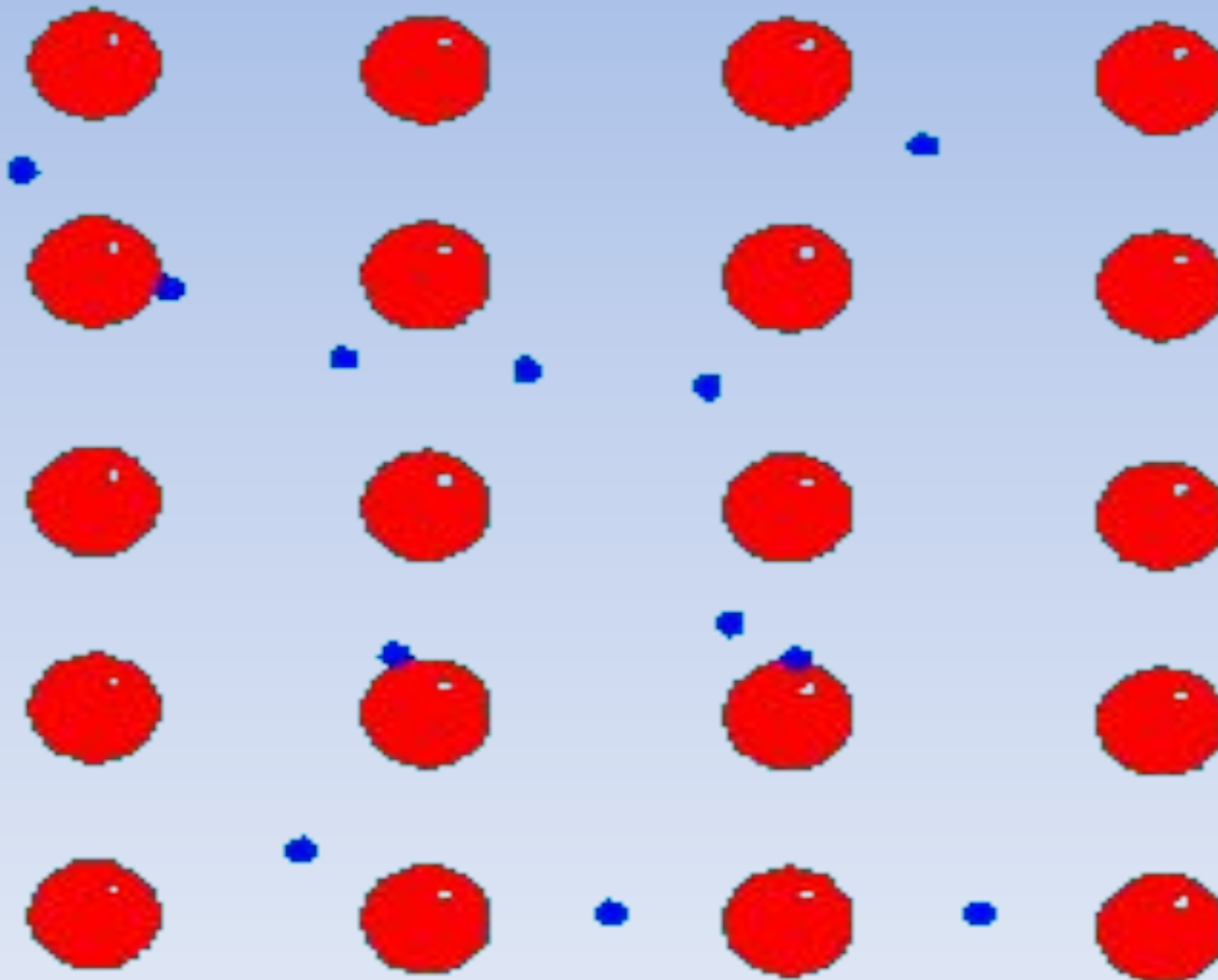
- **Выводы:**

1. Носителями заряда в металле являются отрицательно заряженные частицы.

2. Отношение $\frac{q}{m} \approx \frac{e}{m}$

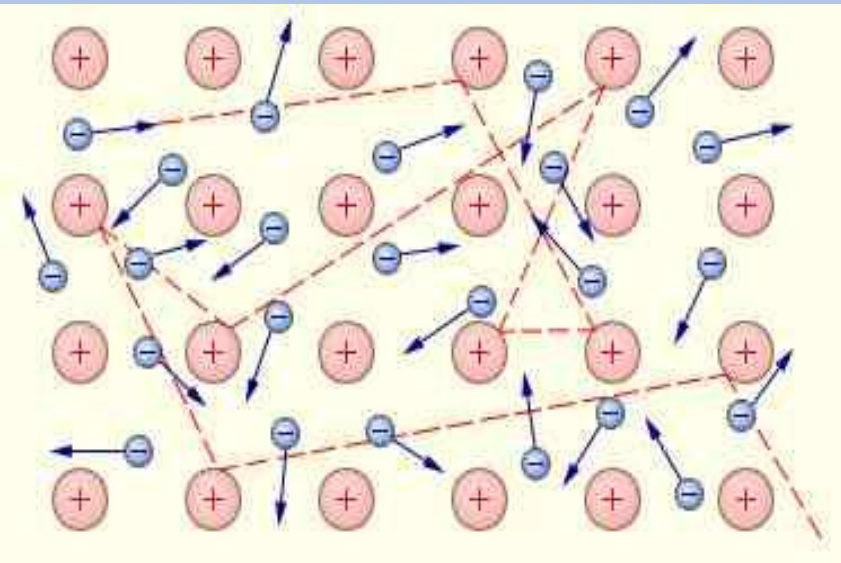
=> **Электрический ток в металлах обусловлен движением электронов**

Ионы совершают тепловые колебания, вблизи положения равновесия – узлов кристаллической решётки. Свободные электроны движутся хаотично и при своём движении сталкиваются с ионами кристаллической решётки



Металлический проводник состоит из:

- 1) положительно заряженных ионов, колеблющихся около положения равновесия, и**
- 2) свободных электронов, способных перемещаться по всему объему проводника.**



В металле в отсутствие электрического поля электроны проводимости хаотически движутся и сталкиваются, чаще всего с ионами кристаллической решетки. Совокупность этих электронов можно приблизительно рассматривать как некий электронный газ, подчиняющийся законам идеального газа. Средняя скорость теплового движения электронов при комнатной температуре составляет примерно 105 м/с.

Зависимость сопротивления проводника R от температуры:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

При нагревании размеры проводника меняются мало, а в основном меняется удельное сопротивление.

Удельное сопротивление проводника зависит от температуры:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

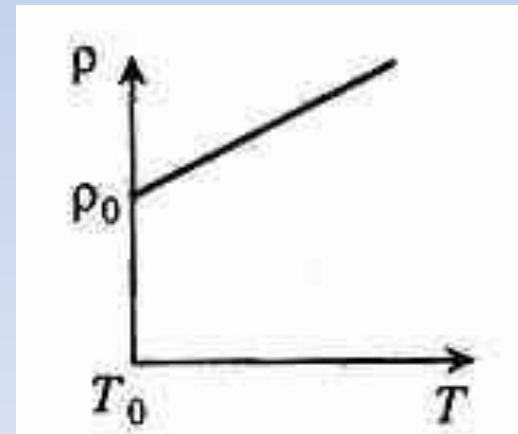
где ρ_0 - удельное сопротивление

при 0 градусов,

t - температура,

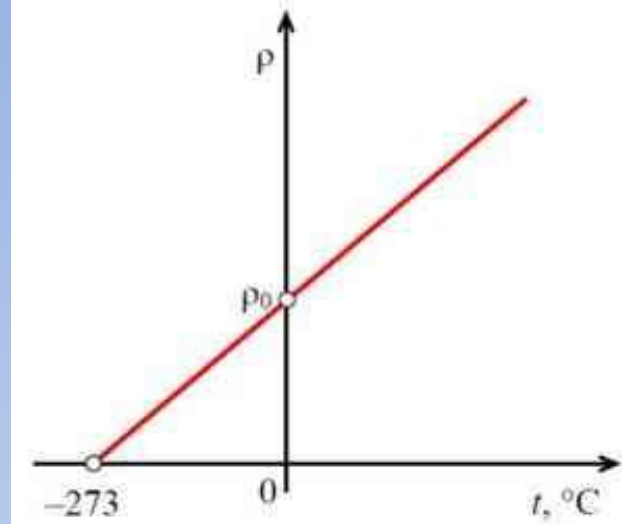
α - температурный коэффициент сопротивления

(т.е. относительное изменение удельного сопротивления проводника при нагревании его на один градус)



Для всех металлических проводников $\alpha > 0$ и слабо изменяется с изменением температуры. Для большинства металлов в интервале температур от 0° до 100°C коэффициент α изменяется от $3,3 \cdot 10^{-3}$ до $6,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ (таблица 1).

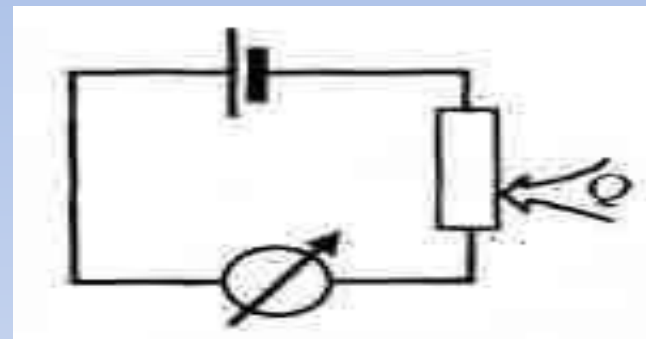
У химически чистых металлов



Существуют специальные сплавы, сопротивление которых практически не изменяется при нагревании, например, манганин и константан. Их температурные коэффициенты сопротивления очень малы и равны соответственно $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ и $5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

$$\alpha = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

Таким образом, для металлических проводников с ростом температуры увеличивается удельное сопротивление, увеличивается сопротивление проводника и уменьшается эл.ток в цепи.



Сопротивление проводника при изменении температуры можно рассчитать по формуле: $R = R_0 (1 + \alpha t)$

где R_0 - сопротивление проводника при 0 градусов Цельсия

t - температура проводника

α - температурный коэффициент сопротивления

Сопротивление проводника

- Сопротивление - это физическая величина, характеризующая степень противодействия проводника направленному движению зарядов.
- Удельное сопротивление – это сопротивление цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения.
- Сверхпроводимость – физическое явление, заключающееся в скачкообразном падении сопротивления до нуля при некоторой критической температуре ($T_{кр}$)

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

ρ – удельное сопротивление,

l – длина проводника,

S – площадь поперечного сечения

$$[R] = \text{Ом}$$

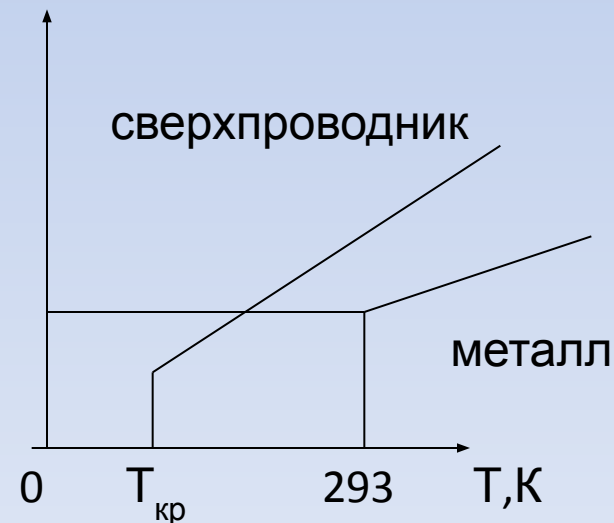
$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

ρ_0 – удельное сопротивление при $t = 20^\circ\text{C}$;

α – температурный коэффициент сопротивления $= 1/273 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$

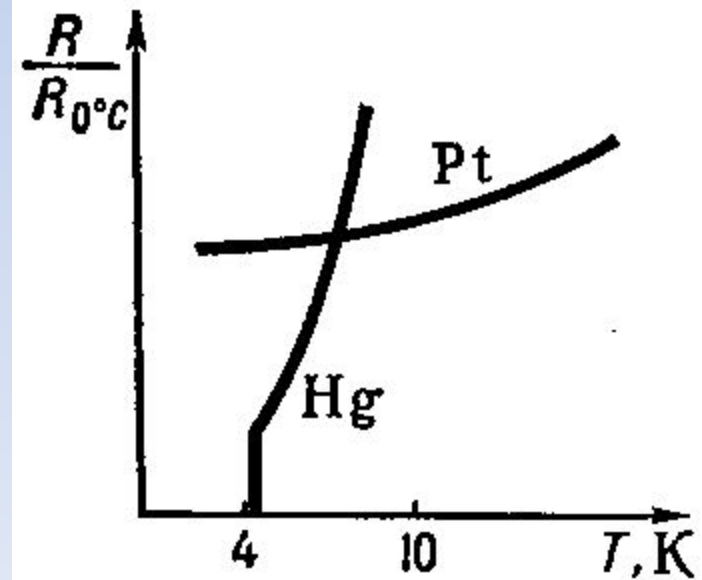
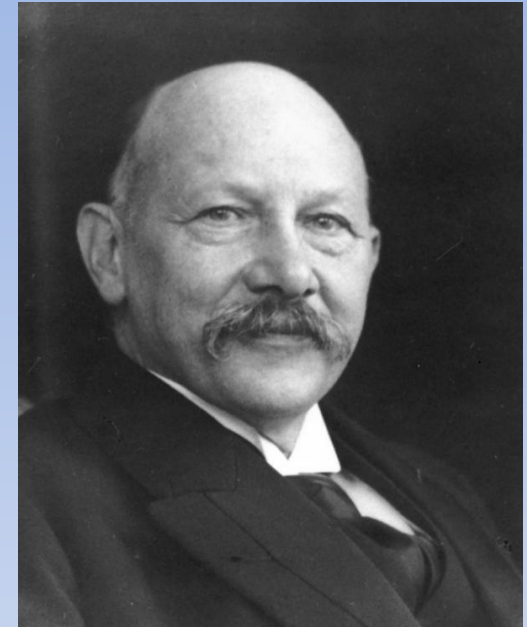
ΔT – изменение температуры

$$[\rho] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$



Сверхпроводимость, свойство многих проводников, состоящее в том, что их электрическое сопротивление скачком падает до нуля при охлаждении ниже определённой критической температуры T_k , характерной для данного материала. Сверхпроводимость обнаружена у более чем 25 металлических элементов, у большого числа сплавов и интерметаллических соединений, а также у некоторых полупроводников.

В 1911 году голландский физик Камерлинг-Оннес обнаружил, что при охлаждении ртути в жидком гелии её сопротивление сначала меняется постепенно, а затем при температуре 4,2 К резко падает до нуля.



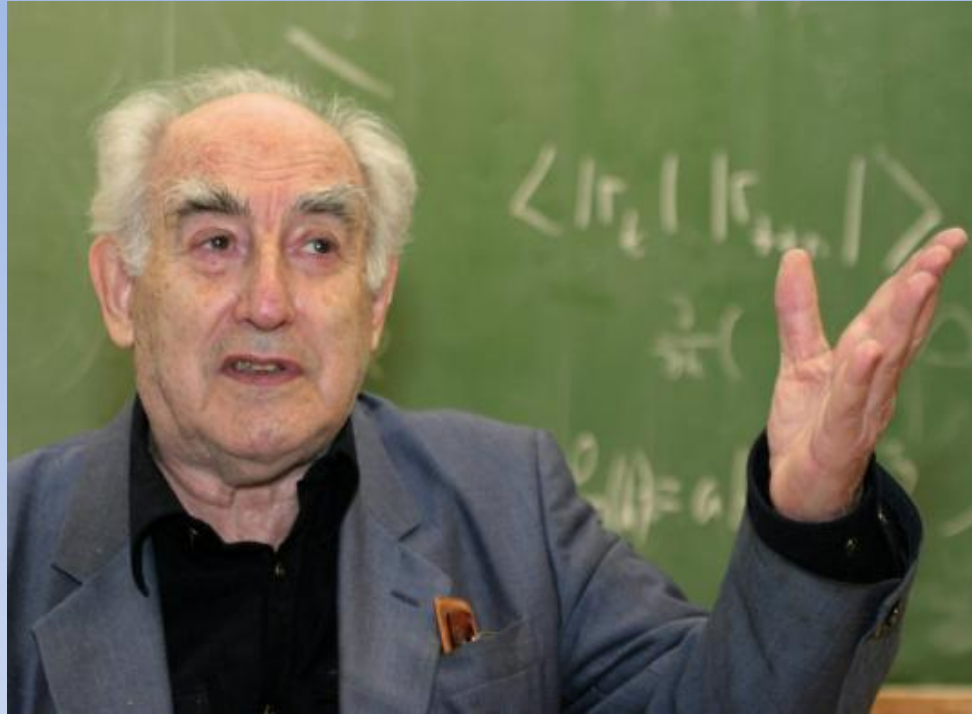
Г. Камерлинг-Оннес был удостоен Нобелевской премии по физике 1913 г. «за исследования свойств вещества при низких температурах».

В дальнейшем было выяснено, что более **25 химических элементов — металлов** при очень низких температурах становятся сверхпроводниками. У каждого из них своя критическая температура перехода в состояние с нулевым сопротивлением. Самое низкое значение ее у вольфрама — 0,012 К, самое высокое у ниобия — 9 К.

Сверхпроводимость наблюдается не только у чистых металлов, но и у многих **химических соединений и сплавов**. При этом сами элементы, входящие в состав сверхпроводящего соединения, могут и не являться сверхпроводниками. Например, NiBi, Au₂Bi, PdTe, PtSb и другие.

До 1986 г. были известны сверхпроводники, обладающие этим свойством при очень низких температурах — ниже $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$. В 1986-1987 годах были обнаружены материалы с температурой перехода в сверхпроводящее состояние около $-173\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это явление получило название высокотемпературной сверхпроводимости, и для его наблюдения можно использовать вместо жидкого гелия жидкий азот.

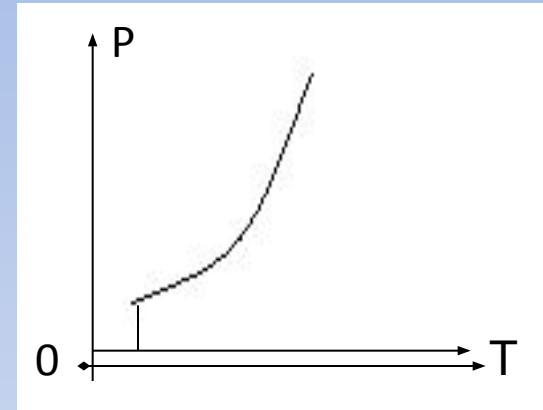
Сверхпроводимость



- Академик В.Л. Гинзбург, нобелевский лауреат за работы по сверхпроводимости

Сверхпроводимость металлов и сплавов

- У многих металлов и сплавов при температурах, близких с $T=0$ К, наблюдается резкое уменьшение удельного сопротивления – это явление называется сверхпроводимостью металлов.



Оно было обнаружено голландским физиком Х.Камерлингем – Онессом в 1911 году у ртути ($T_{кр} = 4,2^{\circ}\text{K}$).

Общие сведения

- Свойством сверхпроводимости обладают около половины металлов и несколько сотен сплавов.
- Сверхпроводящие свойства зависят от типа кристаллической структуры. Изменение её может перевести вещество из обычного в сверхпроводящее состояние.
- Критические температуры изотопов элементов, переходящих в сверхпроводящее состояние, связаны с массами изотопов соотношением:

$$T_c(M_c)^{1/2} = \text{const} \quad (\text{изотопический эффект})$$

Сильное магнитное поле разрушает эффект сверхпроводимости. Следовательно, при помещении в магнитное поле свойство сверхпроводимости может исчезнуть.

Реакция на примеси

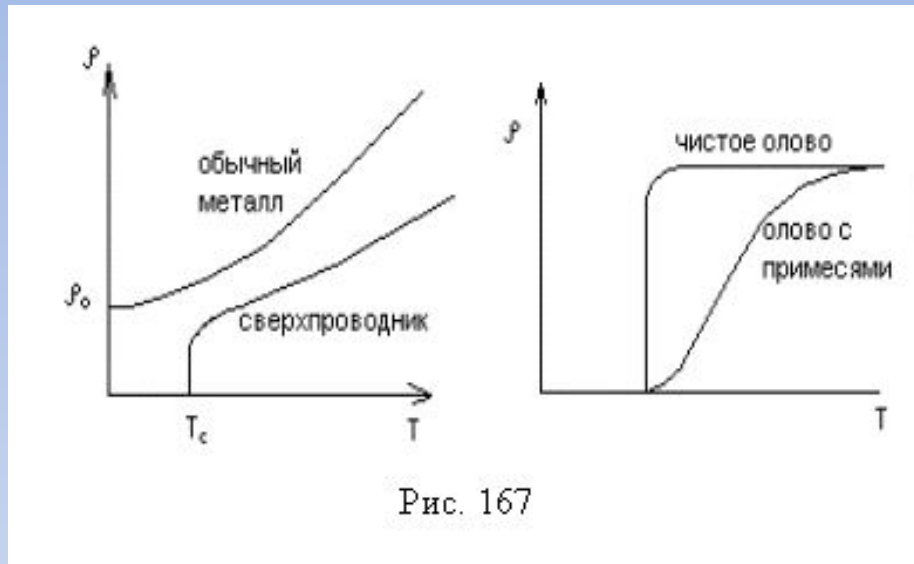


Рис. 167

- Введение примеси в сверхпроводник уменьшает резкость перехода в сверхпроводящее состояние.
- В нормальных металлах ток исчезает примерно через 10^{-12} с. В сверхпроводнике ток, может циркулировать годами (теоретически 105 лет!).

Физическая природа сверхпроводимости

- Явление сверхпроводимости можно понять и обосновать только с помощью квантовых представлений

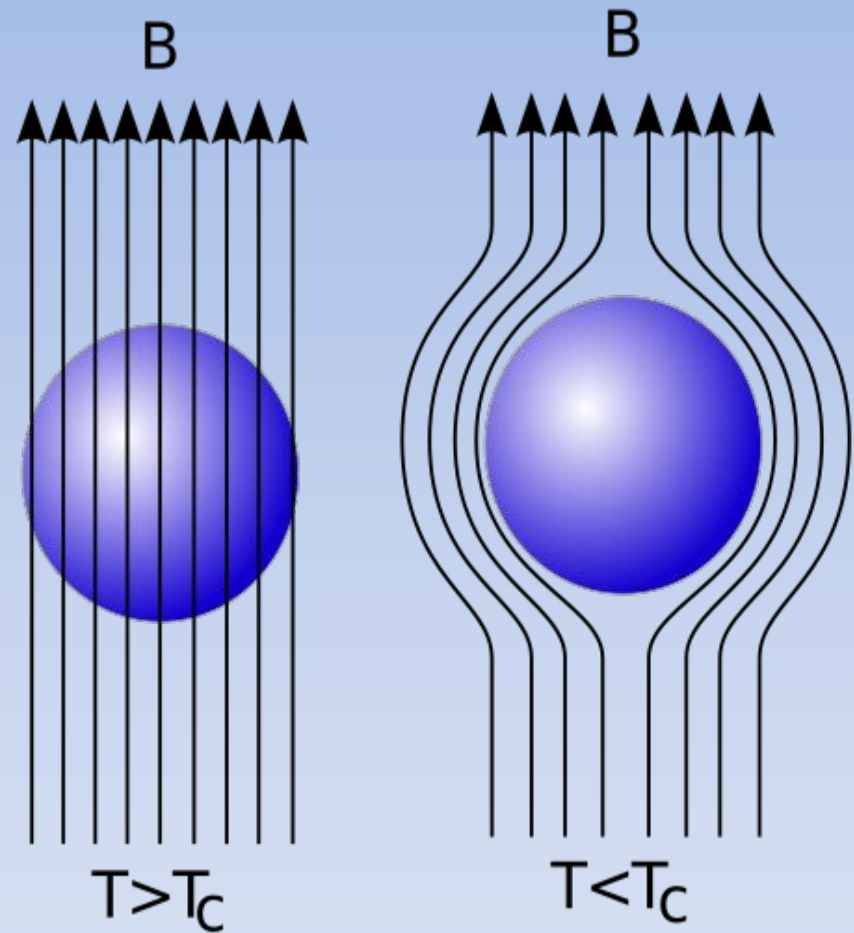
Они были представлены в 1957 году американскими учеными Дж.Бардиным, Л. Купером, Дж.Шриффером и советским академиком Н.Н. Боголюбовым.

В 1986 году была открыта высокотемпературная сверхпроводимость соединений лантана, бария и др. элементов ($T = 100^{\circ}\text{K}$ - это температура кипения жидкого азота).

Однако нулевое сопротивление — не единственная отличительная черта сверхпроводимости. Ещё из теории Друде известно, что проводимость металлов увеличивается с понижением температуры, то есть электрическое сопротивление стремится к нулю.



Одним из главных отличий сверхпроводников от идеальных проводников является эффект Мейснера, открытый в 1933 году, т.е. полное вытеснение магнитного поля из материала при переходе в сверхпроводящее состояние. Впервые явление наблюдалось в 1933 году немецкими физиками Мейснером и Оксенфельдом



Гроб Мухаммеда — опыт, демонстрирующий этот эффект в сверхпроводниках.

По преданию, гроб с телом пророка Магомета висел в пространстве без всякой поддержки, поэтому этот опыт называют экспериментом с «магометовым гробом».

Отталкиваясь от неподвижного сверхпроводника, магнит всплывает сам и продолжает парить до тех пор, пока внешние условия не выведут сверхпроводник из сверхпроводящей фазы. В результате этого эффекта магнит, приближающийся к сверхпроводнику, «увидит» магнит обратной полярности точно такого же размера, что и вызывает левитацию.



Применение сверхпроводимости



1. Сооружаются мощные электромагниты со сверхпроводящей обмоткой, которые создают магнитное поле без затрат электроэнергии на длительном интервале времени, т.к. выделения теплоты не происходит.

2. Сверхпроводящие магниты используются в ускорителях элементарных частиц, магнитогидродинамических генераторах, преобразующих энергию струи раскаленного ионизированного газа, движущегося в магнитном поле, в электрическую энергию.



3. Высокотемпературная сверхпроводимость в недалеком будущем приведет к технической революции в радиоэлектронике, радиотехнике.

4. Если удастся создать сверхпроводники при комнатной температуре, то генераторы и электродвигатели станут исключительно компактными и передавать электроэнергию будет возможно на большие расстояния без потерь.



Используемые ресурсы:

- <http://www.physbook.ru/index.php/><http://www.physbook.ru/index.php/>[Т. Электронная проводимость металлов](#)
- http://class-fizika.narod.ru/10_9.htm