

# Классификация веществ по

Разные вещества имеют различные электрические свойства, однако по электрической проводимости их можно разделить на 3 основные группы:

**Электрические  
свойства веществ**

**Проводники**

**Полупроводники**

**Диэлектрики**

**Хорошо проводят электрический ток.** К ним относятся металлы, электролиты, плазма ... Наиболее используемые проводники – **Au, Ag, Cu, Al, Fe ...**

Занимают по проводимости **промежуточное положение** между проводниками и диэлектриками  
**Si, Ge, Se, In, As**

**Практически не проводят электрический ток.** К ним относятся пластмассы, резина, стекло, фарфор, сухое дерево, бумага ...

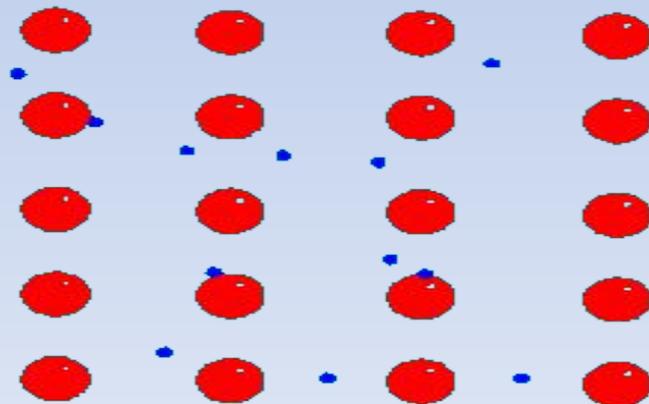
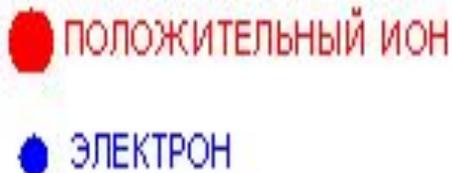
Электрический ток может протекать в пяти  
**различных средах:**

- Металлах
- Вакууме
- Полупроводниках
- Жидкостях
- Газах

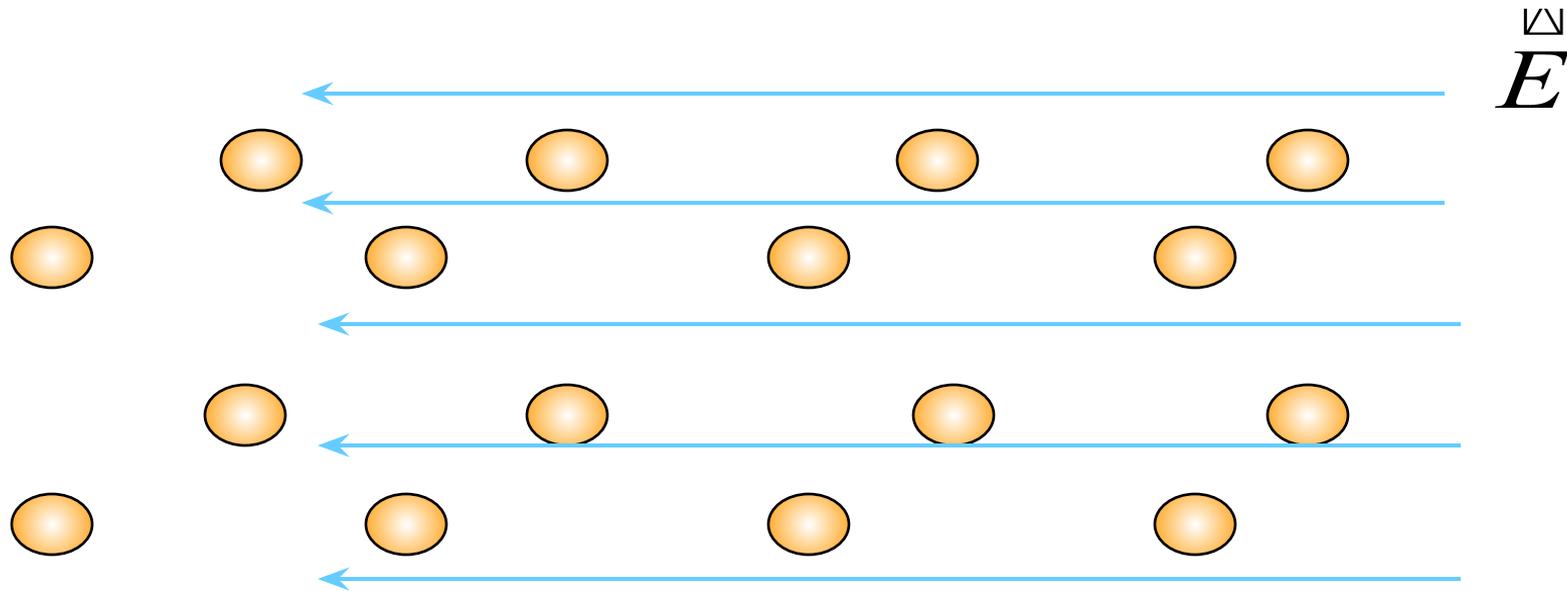
# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Опыты показывают, что при протекании тока по металлическому проводнику **не происходит переноса вещества**, следовательно, ионы металла не принимают участия в переносе электрического заряда.

## СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛА



Вспомним, что проводимость веществ обусловлена наличием в них свободных заряженных частиц. Например, в металлах это свободные электроны.



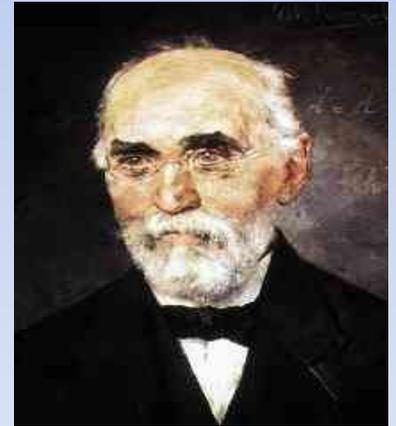
▣ **Электрический ток в металлах** – это упорядоченное движение **электронов** под действием электрического поля.

# Основы электронной теории проводимости



**Пауль Друде**  
**Карл Людвиг** —  
немецкий физик

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



**Хендрик Антон**  
**Лоренц**- голландский

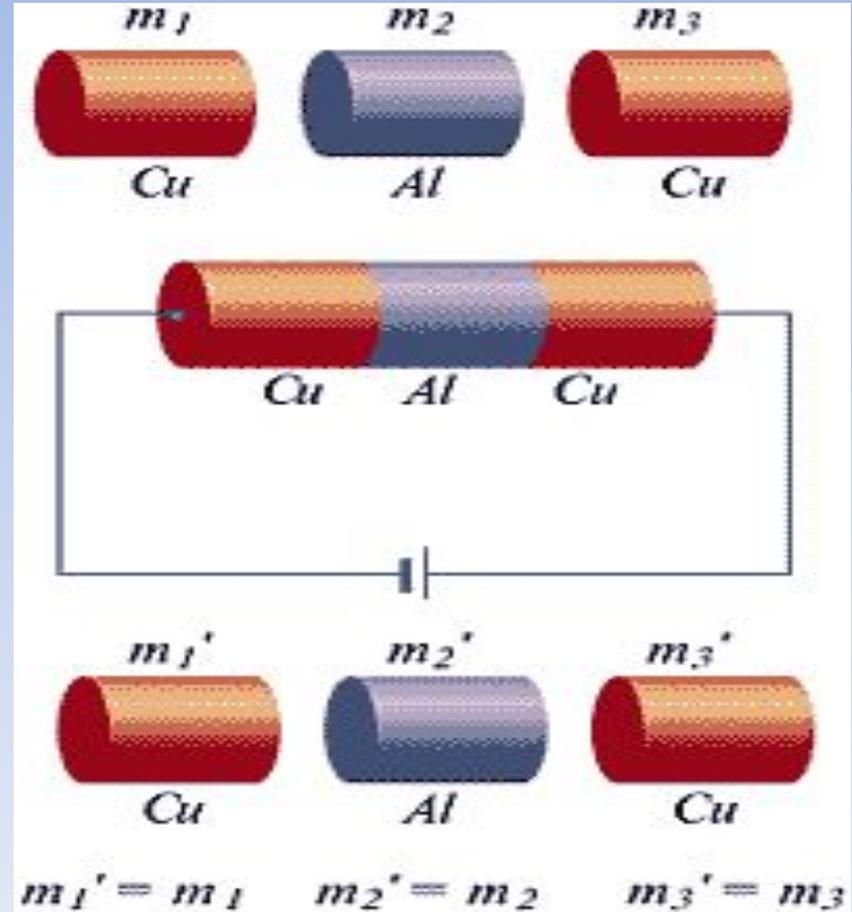
# Классическая электронная теория Друде - Лоренца.

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

# Опыт Рикке

1901 г.

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 масса и химический состав проводника не изменялся при прохождении тока в течении

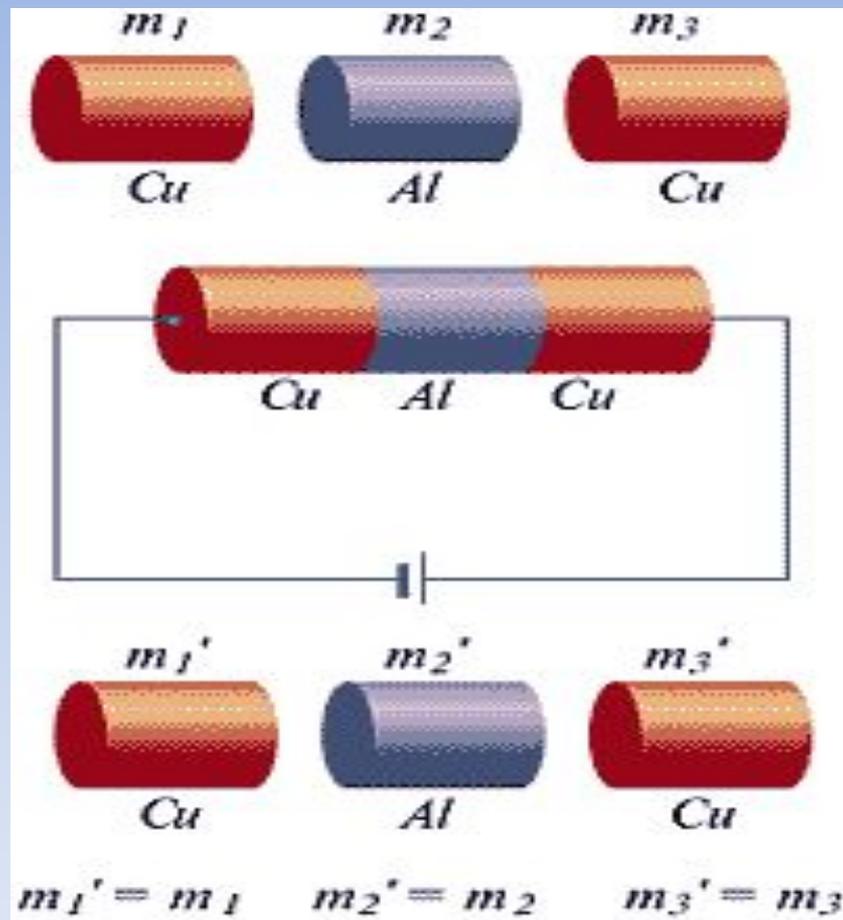


**Вывод:**

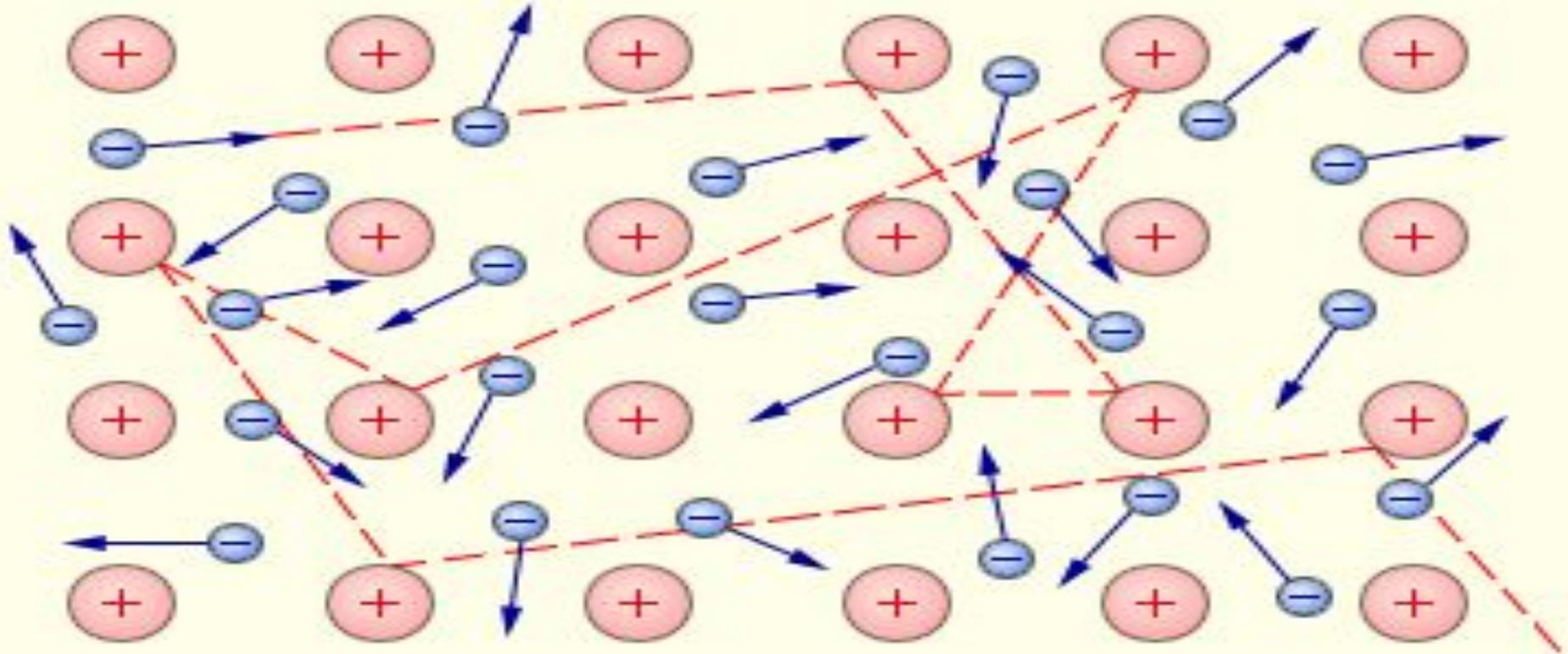
**Не происходит переноса вещества =>**

**1) Ионы металла не принимают участия в переносе электрического заряда.**

**2) Носители заряда - частицы, входящие в состав всех металлов**

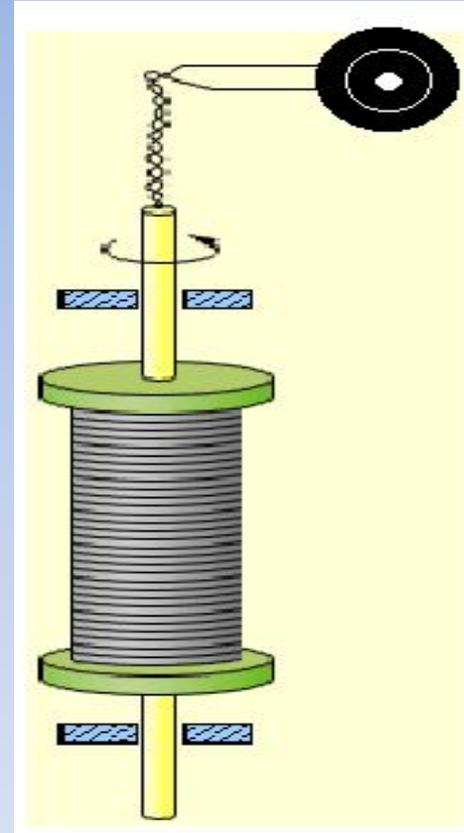


**Электроны взаимодействуют не друг с другом, а с ионами кристаллической решётки. При каждом соударении электрон передаёт свою кинетическую энергию**



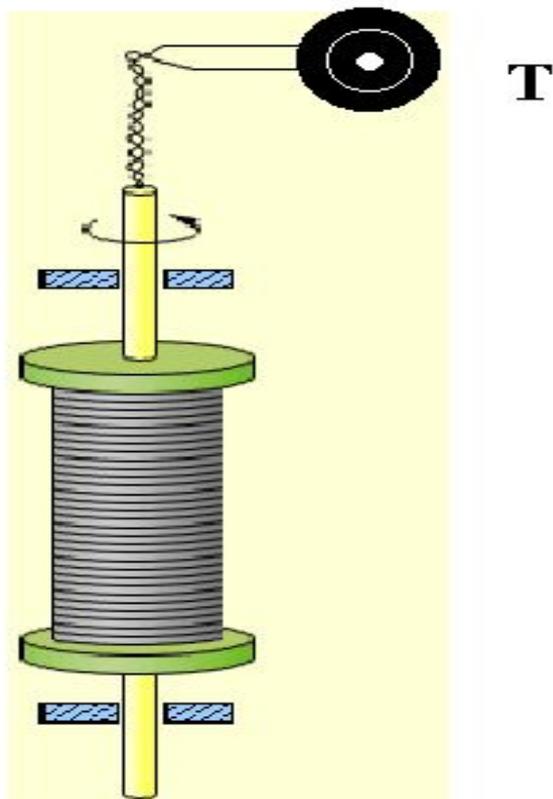
**Экспериментальное доказательство того, что ток в металлах создается свободными электронами, было дано в опытах Л.И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси (1913 г., результаты не были опубликованы), а также Т. Стюарта и Р. Толмена (1916 г.).**

**Они обнаружили, что при резкой остановке быстро вращающейся катушки в проводнике катушки возникает электрический ток, создаваемый отрицательно заряженными частицами —**



# Опыт Мандельштама и Папалекси

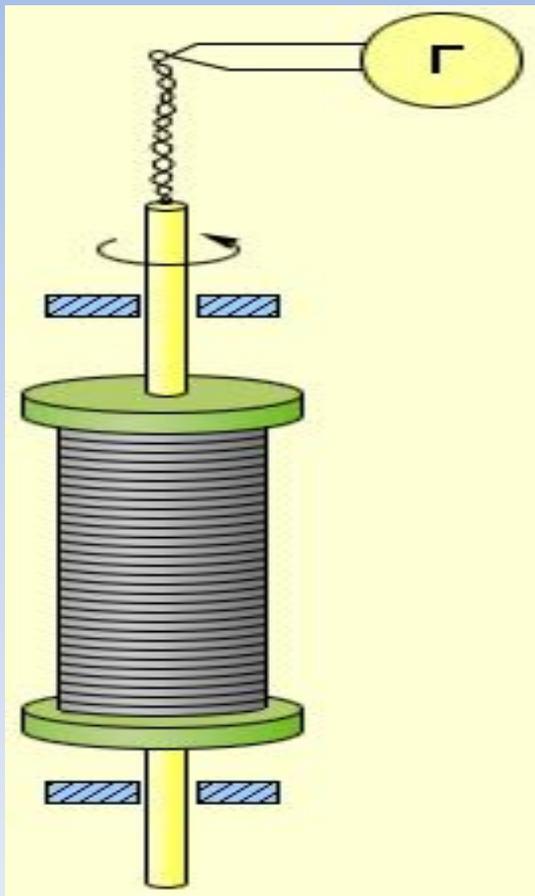
1913 г.



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

# Опыт Толмена и Стюарта

1916 г.



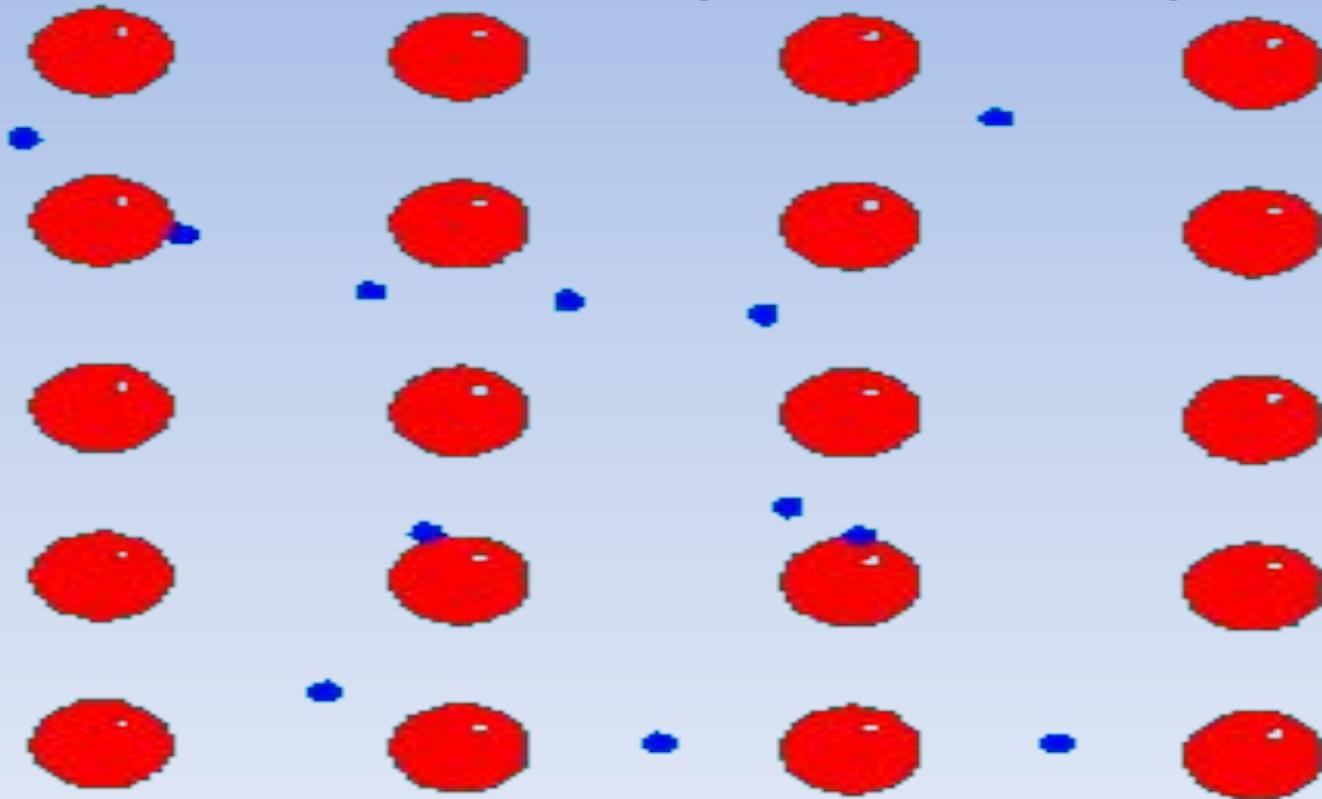
- **Выводы:**

1. Носителями заряда в металле являются отрицательно заряженные частицы.

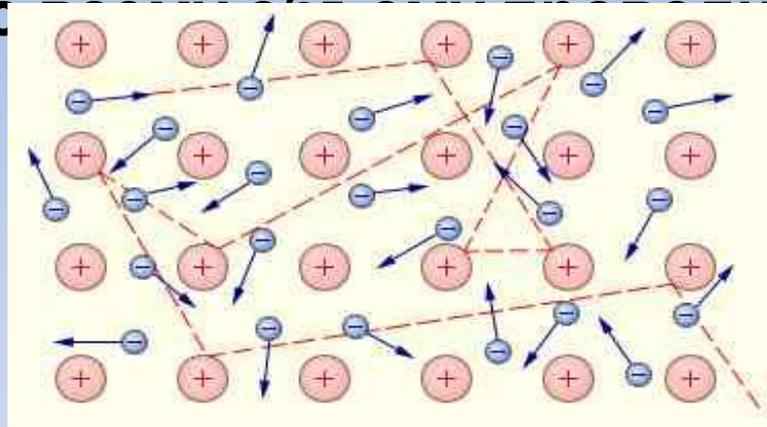
2. Отношение  $\frac{q}{m} \approx \frac{e}{m}$

=> **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 положительно заряженных ионов, колеблющихся около положения равновесия, и свободных электронов, способных перемещаться по проводнику.**



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

## Температурная зависимость сопротивления

- **Сопротивление** – способность (свойство) проводника противодействовать протеканию электрического тока.

**Причина.** При движении по проводнику свободные носители заряда сталкиваются с частицами (атомами, молекулами, дефектами структуры), которые совершают тепловое движение.

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad \rho_0 - \text{удельное сопротивление при } t = 0^\circ\text{C}$$

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad R_0 - \text{сопротивление проводника при } t = 0^\circ\text{C}$$

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления (т.е. относительное изменение удельного сопротивления проводника при нагревании его на один градус)

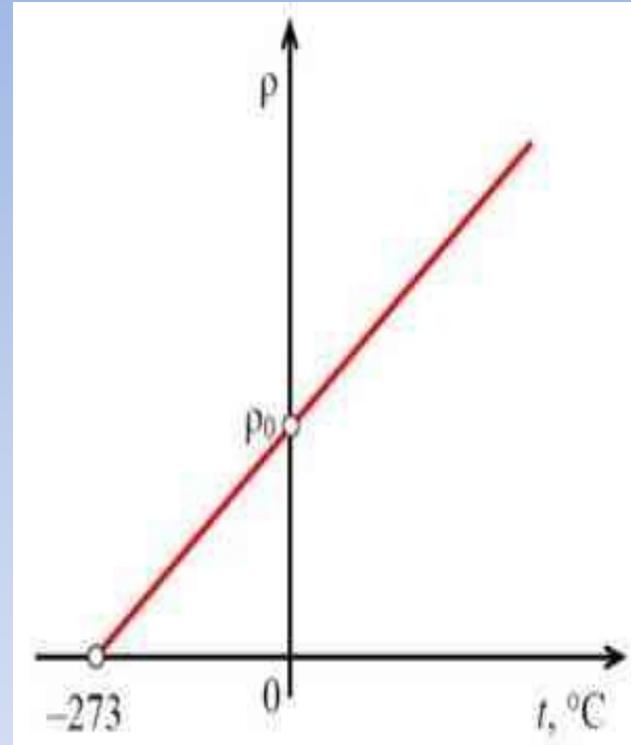
Для металлических проводников с ростом температуры увеличивается удельное сопротивление, увеличивается сопротивление проводника и уменьшается эл.ток в цепи.

Для всех металлических проводников  $\alpha > 0$  и слабо изменяется с изменением температуры.

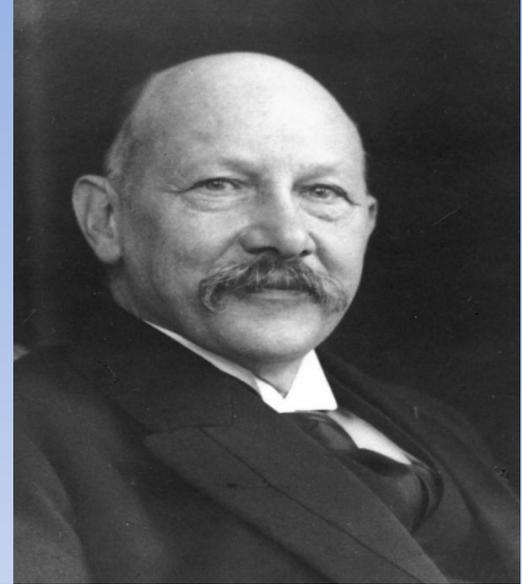
У химически чистых металлов

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

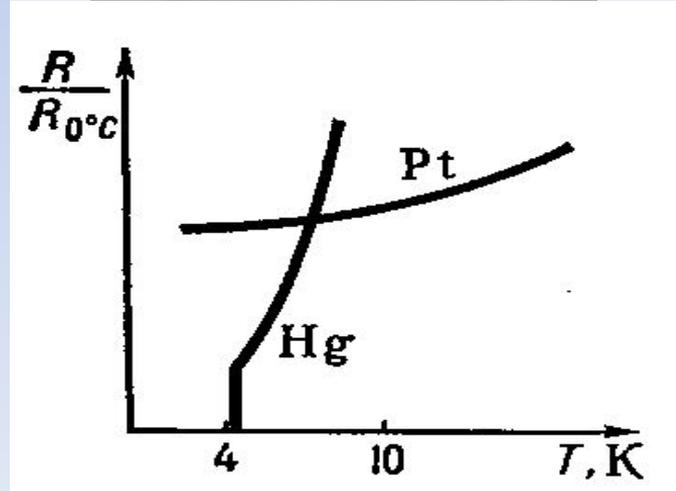
Существуют специальные сплавы, сопротивление которых практически не изменяется при нагревании, например, манганин и константан. Их температурные коэффициенты сопротивления очень малы



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.



Сверхпроводимость – физическое явление, заключающееся в скачкообразном падении сопротивления до нуля при некоторой критической температуре ( $T_{кр}$ ), характерной для данного материала.

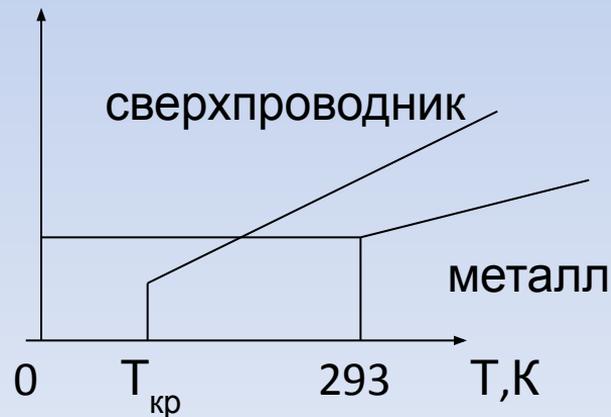


Г. Камерлинг-Оннес был удостоен Нобелевской премии по физике 1913 г. «за исследования свойств вещества при низких температурах».

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  $\rho$  сверхпроводниками.

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.



# 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.

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

# Реакция на примеси

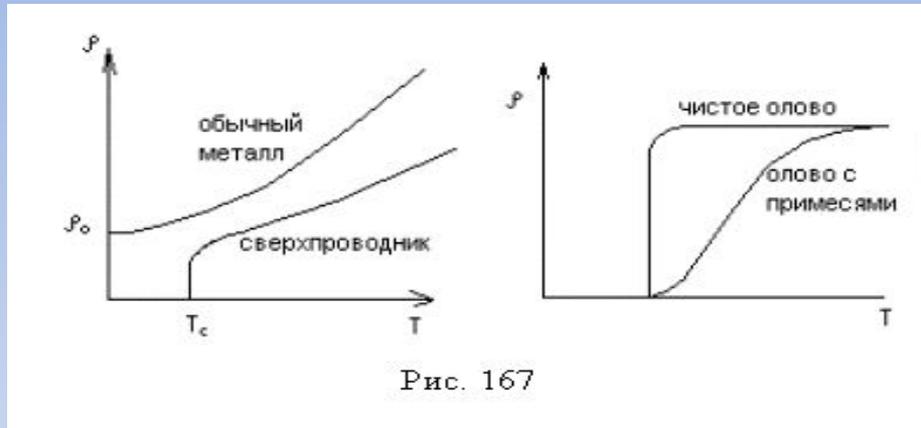
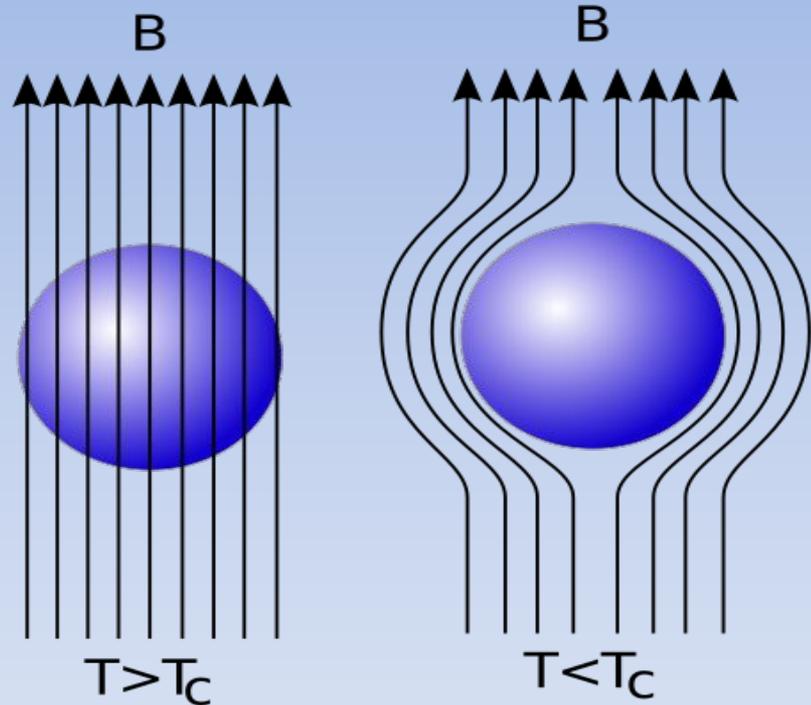


Рис. 167

- 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!).

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 и 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 компактны и передавать электроэнергию будет возможно на большие расстояния без потерь.

