

# Электрический ток в различных средах

## Содержание:

- Вещества
- Электрический ток в металлах
- Электрический ток в полупроводниках
- Электрический ток в жидкостях
- Электрический ток в газах
- Электрический ток в вакууме



# Вещества

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

## Электрические свойства веществ

### Проводники

Хорошо проводят электрический ток

К ним относятся металлы, электролиты, плазма ...

Наиболее используемые проводники – **Au, Ag, Cu, Al, Fe** ...

### Полупроводники

Занимают по проводимости **промежуточное положение** между проводниками и диэлектриками

**Si, Ge, Se, In, As**

### Диэлектрики

Практически не проводят электрический ток

К ним относятся пластмассы, резина, стекло, фарфор, сухое дерево, бумага ...



# Электрический ток в металлах



# Природа электрического тока в металлах

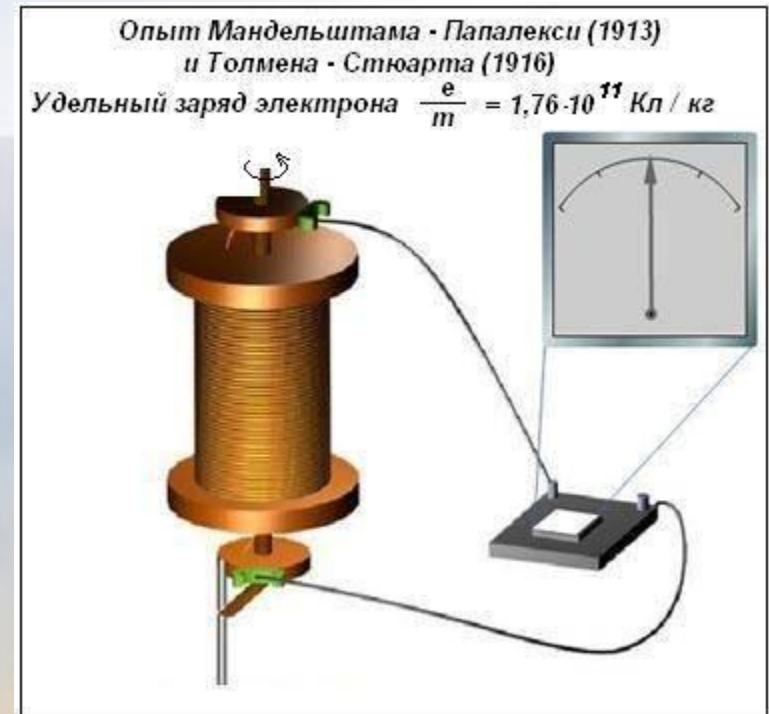
Электрический ток в металлических проводниках никаких изменений в этих проводниках, кроме их нагревания не вызывает.

Концентрация электронов проводимости в металле очень велика: по порядку величины она равна числу атомов в единице объёма металла. Электроны в металлах находятся в непрерывном движении. Их беспорядочное движение напоминает движение молекул идеального газа. Это дало основание считать, что электроны в металлах образуют своеобразный электронный газ. Но скорость беспорядочного движения электронов в металле значительно больше скорости молекул в газе (она составляет примерно  $10^5$  м/с).



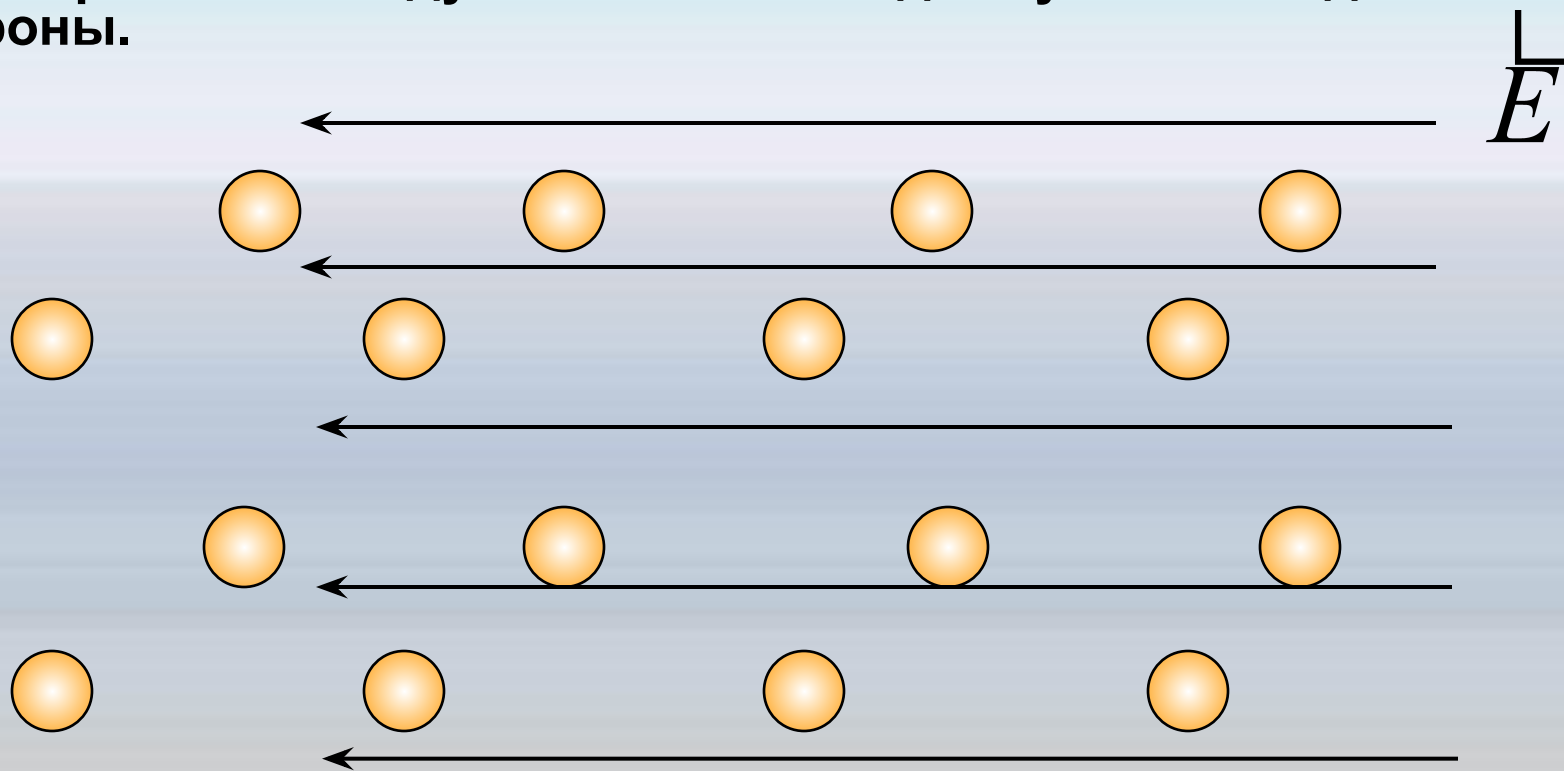
## Опыт Папалекси-Мандельштама

- Описание опыта :
- Цель: выяснить какова проводимость металлов.
- Установка: катушка на стержне со скользящими контактами, присоединены к гальванометру.
- Ход эксперимента: катушка раскручивалась с большой скоростью, затем резко останавливалась, при этом наблюдался отброс стрелки гальванометра.
- Вывод: проводимость металлов - электронная.



# Электрический ток в металлах

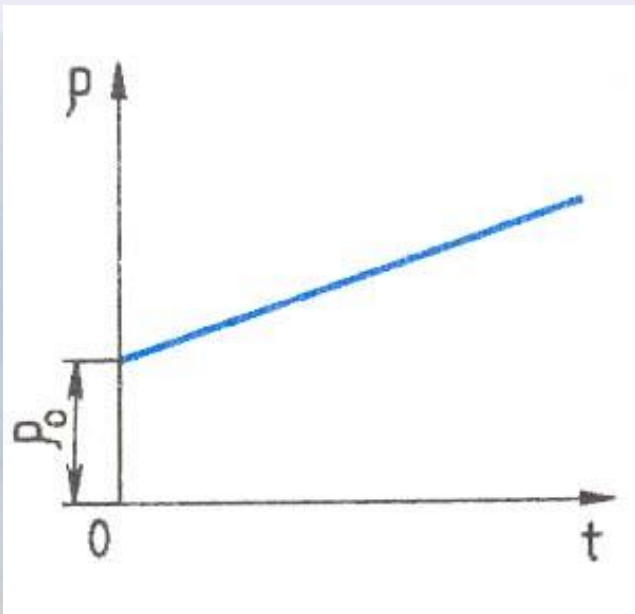
Металлы имеют кристаллическое строение . В узлах кристаллической решетки расположены положительные ионы, совершающие тепловые колебания вблизи положения равновесия, а в пространстве между ними хаотично движутся свободные электроны.



Электрическое поле сообщает им ускорение в направлении, противоположном направлению вектора напряженности поля. Поэтому в электрическом поле беспорядочно движущиеся электроны смещаются в одном направлении, т.е. движутся упорядоченно.



# Зависимость сопротивления проводника от температуры



- При повышении температуры удельное сопротивление проводника возрастает.
- Коэффициент сопротивления равен относительному изменению сопротивления проводника при нагревании на 1К.

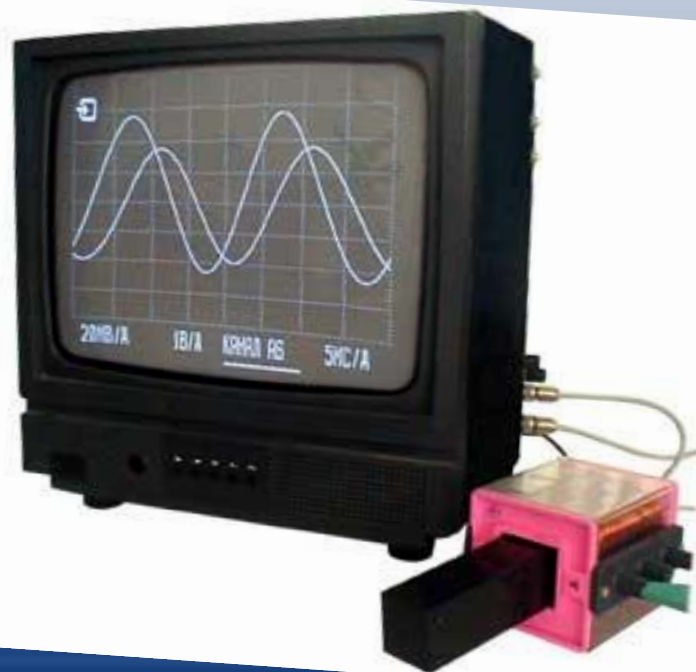
$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$



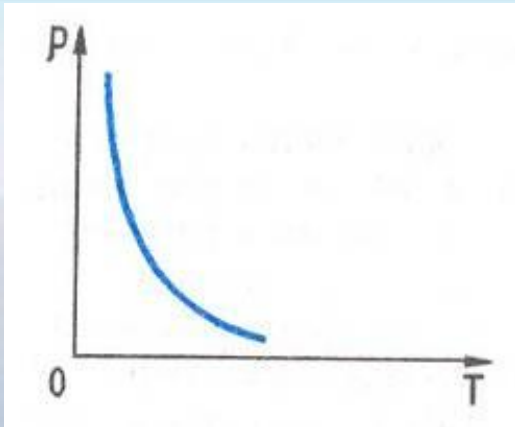


# Электрический ток в полупроводниках

- Собственная проводимость полупроводников
- Примесная проводимость полупроводников
- $p - n$  переход и его свойства



# Полупроводники



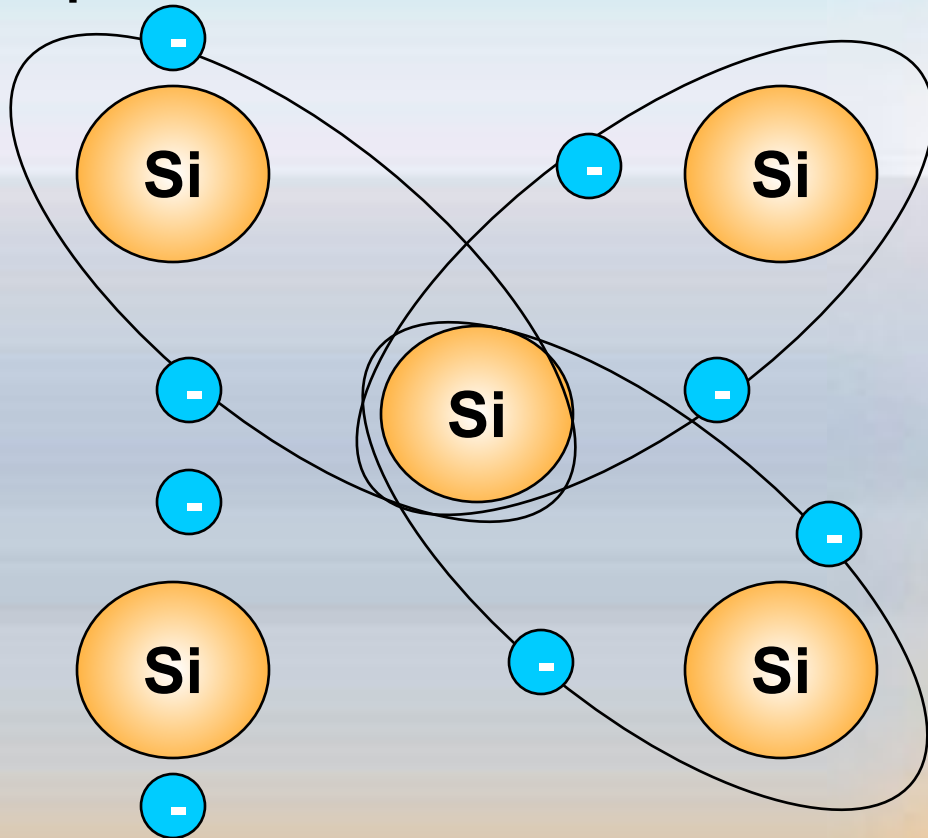
**Полупроводники** – вещества у которых удельное сопротивление с повышением температуры уменьшается

- **Собственная проводимость полупроводников**
- **Примесная проводимость полупроводников**
- **$p - n$  переход и его свойства**



## Собственная проводимость полупроводников

- Рассмотрим проводимость полупроводников на основе кремния Si



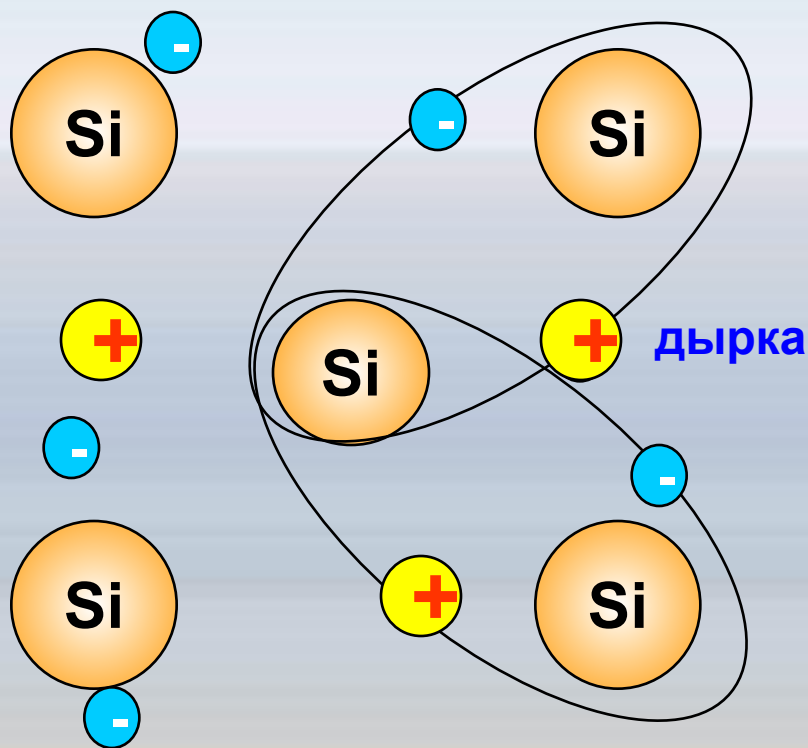
Кремний – 4 валентный химический элемент. Каждый атом имеет во внешнем электронном слое по 4 электрона, которые используются для образования парноэлектронных (ковалентных) связей с 4 соседними атомами

При обычных условиях (невысоких температурах) в полупроводниках отсутствуют свободные заряженные частицы, поэтому полупроводник не проводит электрический ток



# Электрический ток в полупроводниках

Рассмотрим изменения в полупроводнике при увеличении температуры



свободный  
электрон

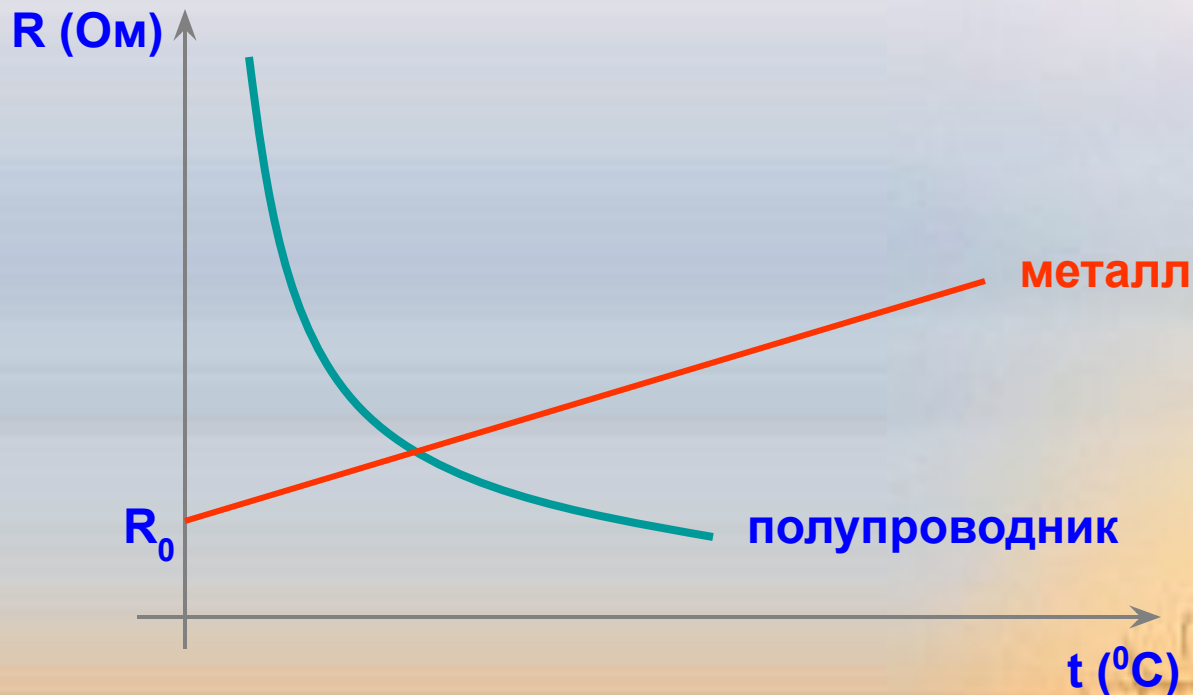
При увеличении температуры энергия электронов увеличивается и некоторые из них покидают связи, становясь **свободными электронами**. На их месте остаются некомпенсированные электрические заряды (виртуальные заряженные частицы), называемые **дырками**.



# Электрический ток в полупроводниках

Таким образом, **электрический ток в полупроводниках** представляет собой упорядоченное движение **свободных электронов** и положительных виртуальных частиц - **дырок**

## Зависимость сопротивления от температуры

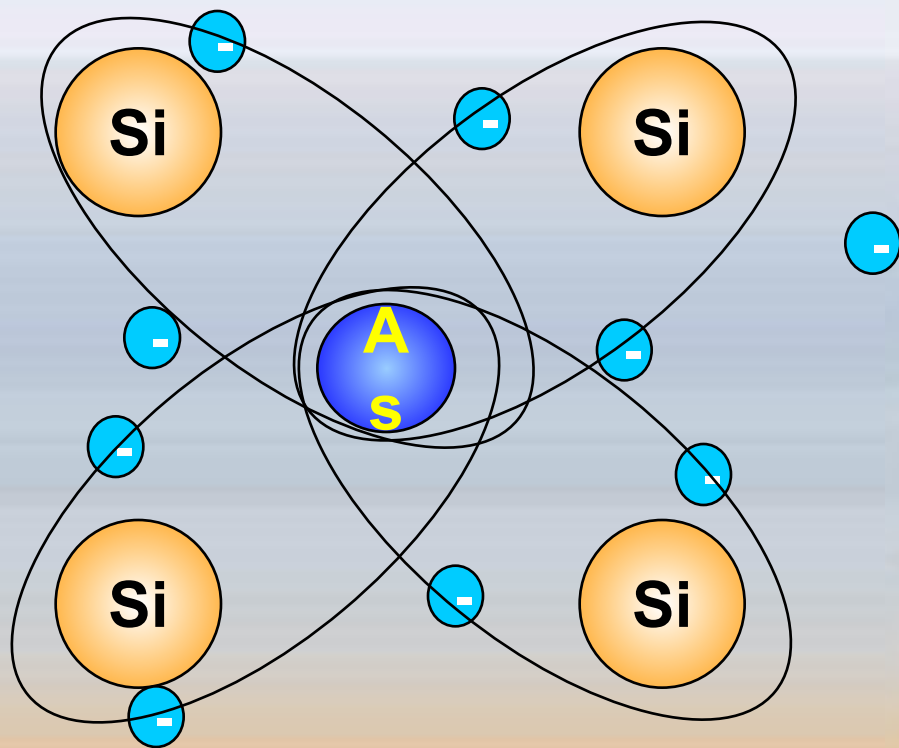


При **увеличении температуры** растет число свободных носителей заряда, **проводимость полупроводников растет**, сопротивление уменьшается.



# Электрический ток в полупроводниках

Собственная проводимость полупроводников явно недостаточна для технического применения полупроводников. Поэтому для увеличения проводимости в чистые полупроводники внедряют примеси (легируют), которые бывают **донорные** и **акцепторные**



- **Донорные примеси**

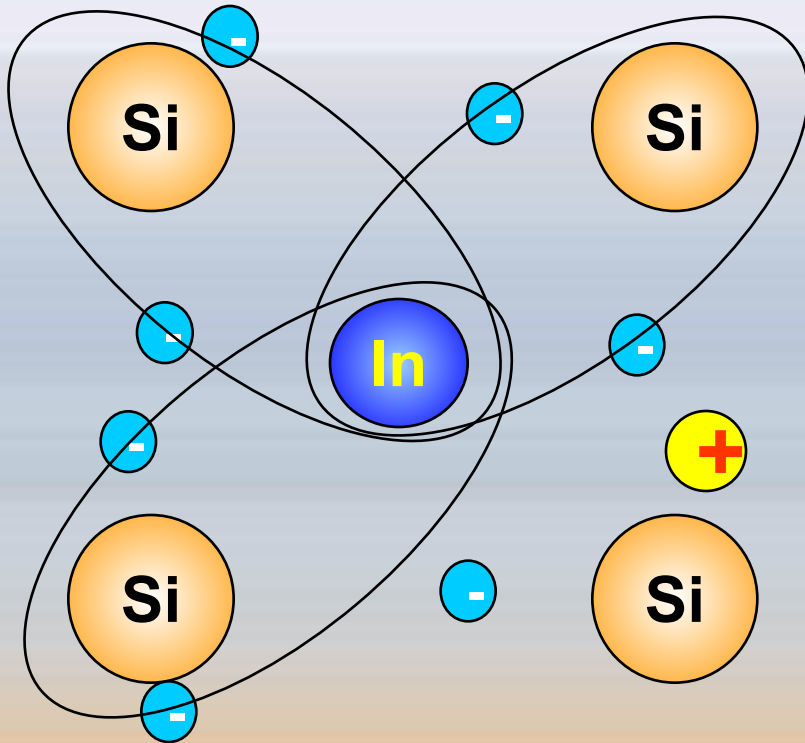
При легировании 4-валентного кремния Si 5-валентным мышьяком As, один из 5 электронов мышьяка становится свободным. As – положительный ион. Дырки нет!

Такой полупроводник называется полупроводником **n – типа**, **основными носителями** заряда являются **электроны**, а примесь мышьяка, дающая свободные электроны, называется **донорной**.



## Акцепторные примеси

Если кремний легировать трехвалентным индием, то для образования связей с кремнием у индия не хватает одного электрона, т.е. образуется дырка



Основа дает электроны и дырки в равном количестве. Примесь – только дырки.

Такой полупроводник называется полупроводником **p – типа**, основными носителями заряда являются **дырки**, а примесь индия, дающая дырки, называется **акцепторной**



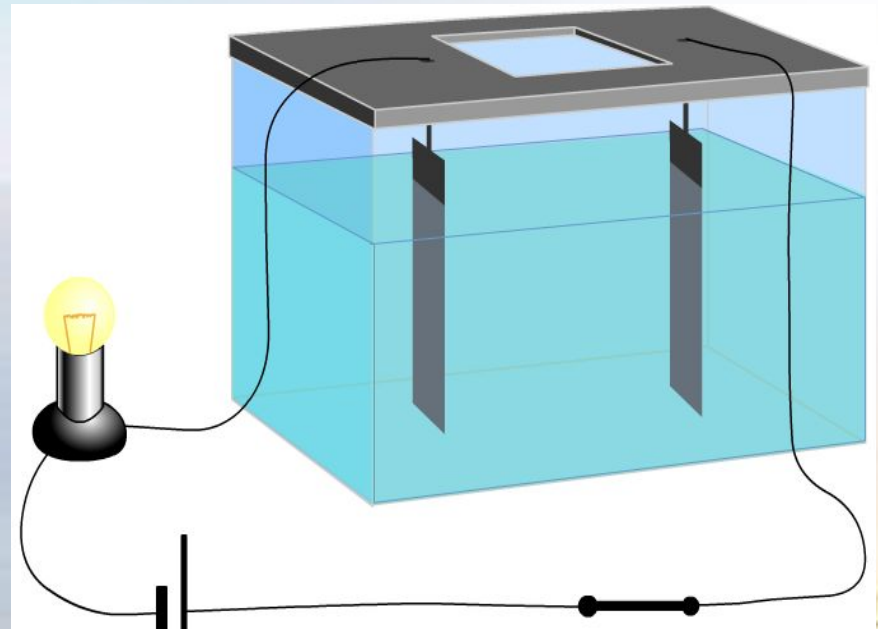
# Электрический ток в жидкостях





# Электрический ток в жидкостях

Дистиллированная вода не проводит электрического тока. Опустим кристалл поваренной соли в дистиллированную воду и, слегка перемешав воду, замкнем цепь. Мы обнаружим, что лампочка загорается.



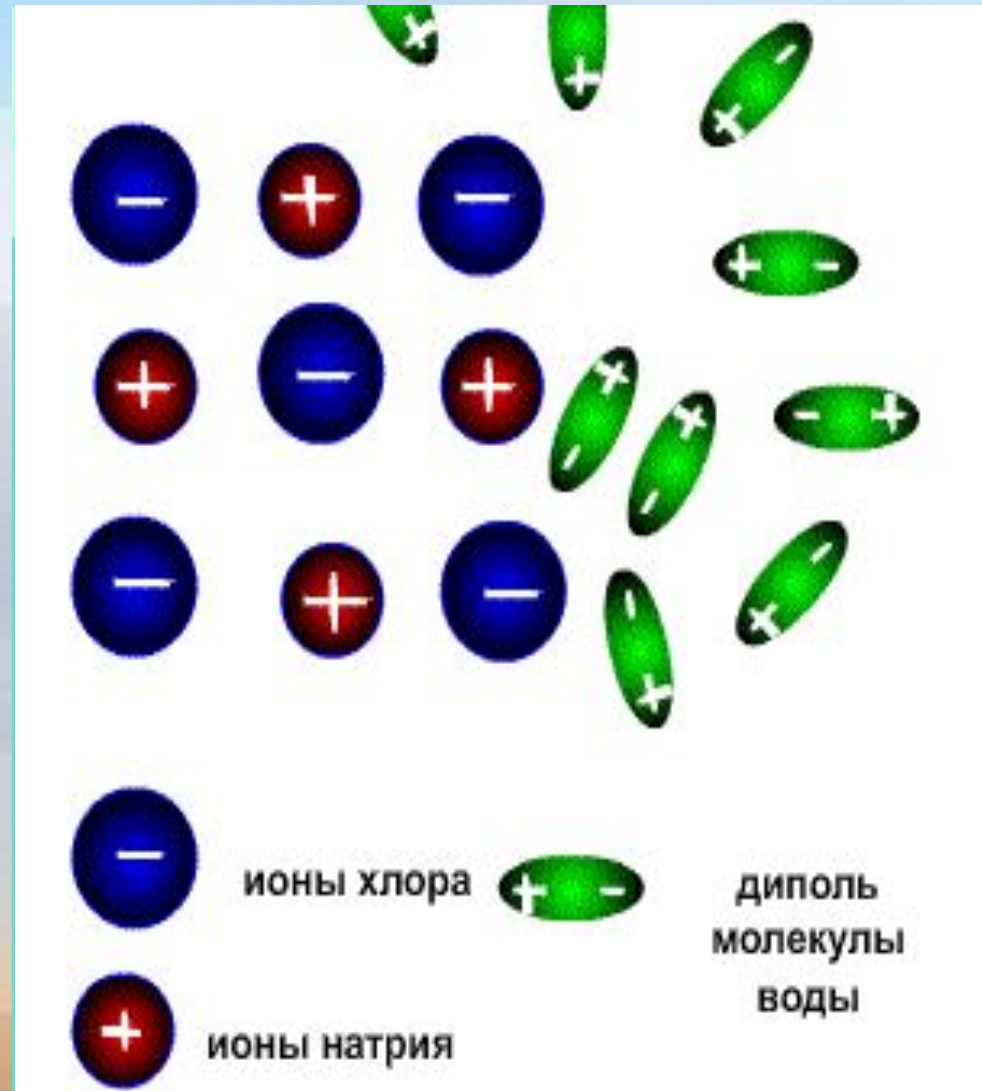
При растворении соли в воде появляются свободные носители электрических зарядов.



# Электрический ток в жидкостях

Как возникают свободные носители электрических зарядов?

При погружении кристалла в воду к положительным ионам натрия, находящимся на поверхности кристалла, молекулы воды притягиваются своими отрицательными полюсами. К отрицательным ионам хлора молекулы воды поворачиваются положительными полюсами.

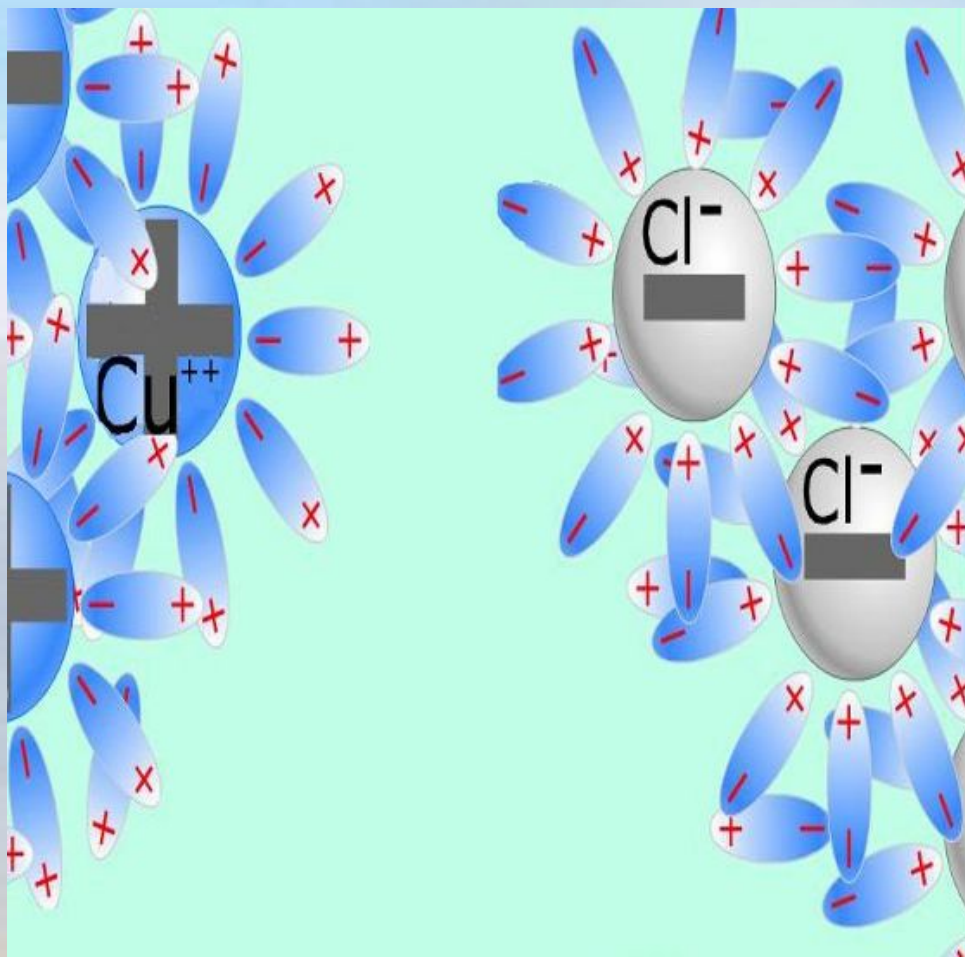


## **Электролитическая диссоциация –**

это распад молекул на ионы под действием растворителя.

Подвижными носителями зарядов в растворах являются только ионы.

Жидкий проводник, в котором подвижными носителями зарядов являются только ионы, называют **электролитом**.



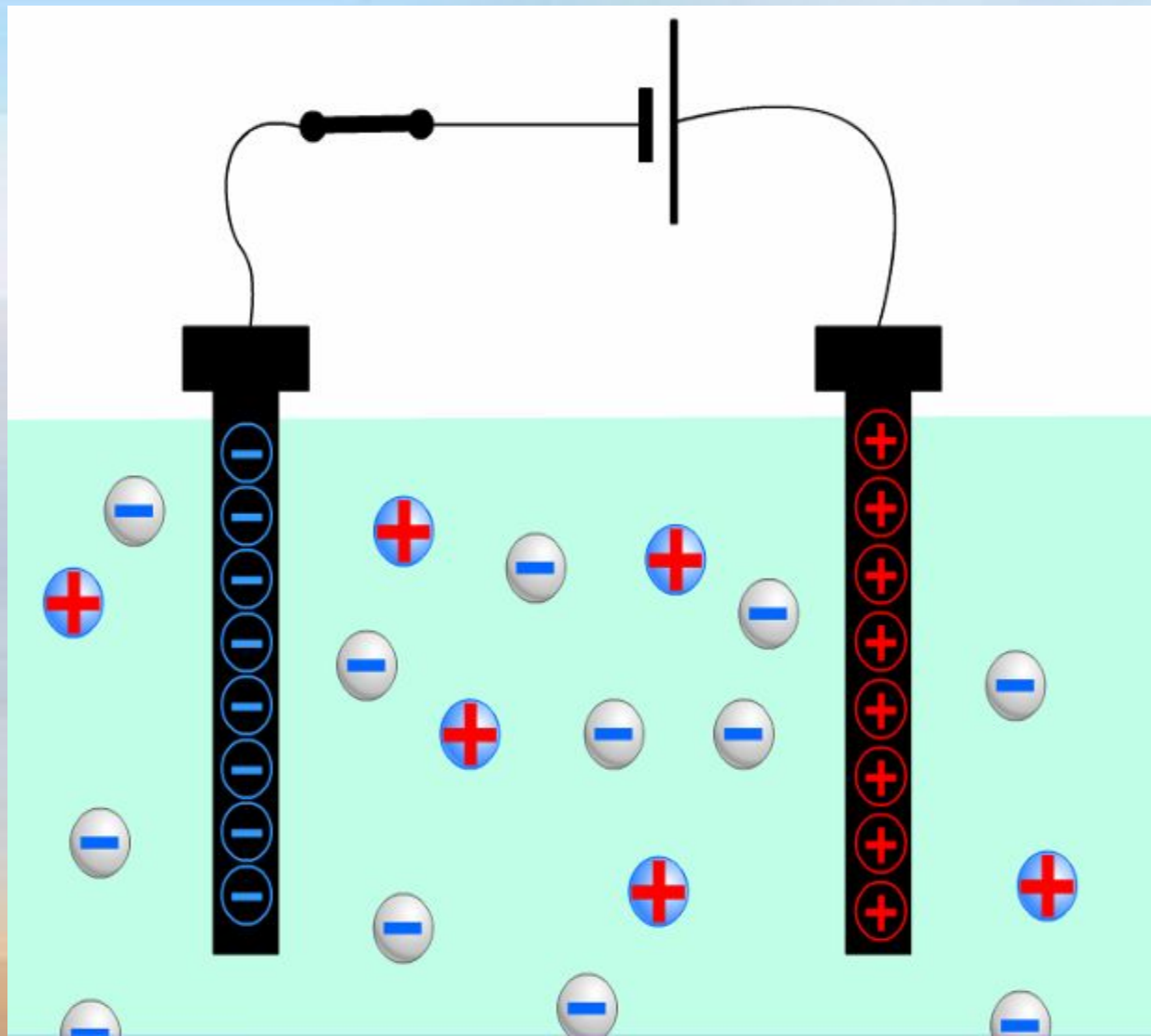
# Электрический ток в жидкостях

## Как проходит ток через электролит?

Опустим в сосуд пластины и соединим их с источником тока. Эти пластины называются электродами.

**Катод** - пластина, соединенная с отрицательным полюсом источника.

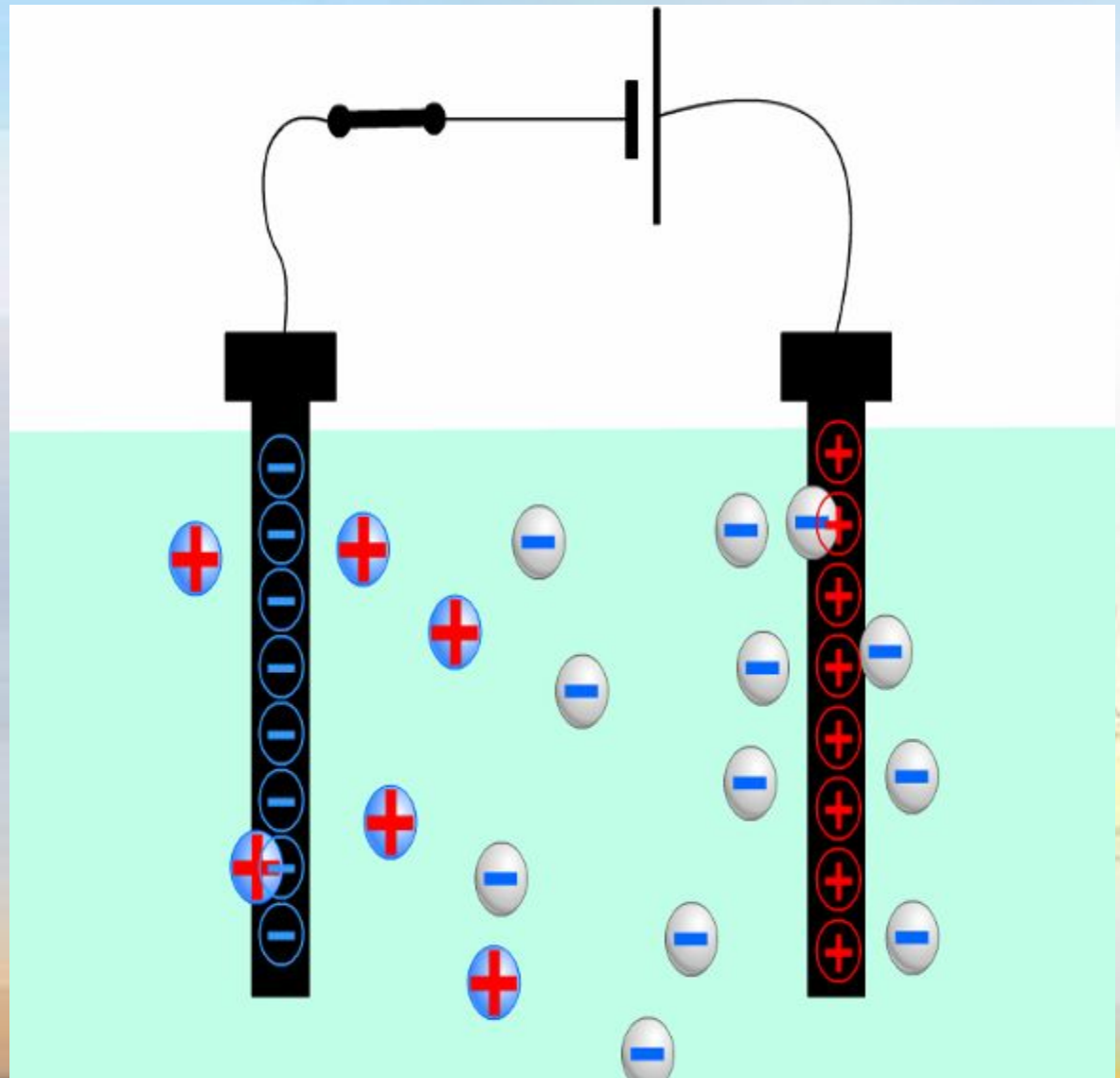
**Анод** - пластина, соединенная с положительным полюсом источника.



# Электрический ток в жидкостях

Под действием сил электрического поля положительно заряженные ионы движутся к катоду, а отрицательные ионы к аноду.

На аноде отрицательные ионы отдают свои лишние электроны, а на катоде положительные ионы получают недостающие электроны.

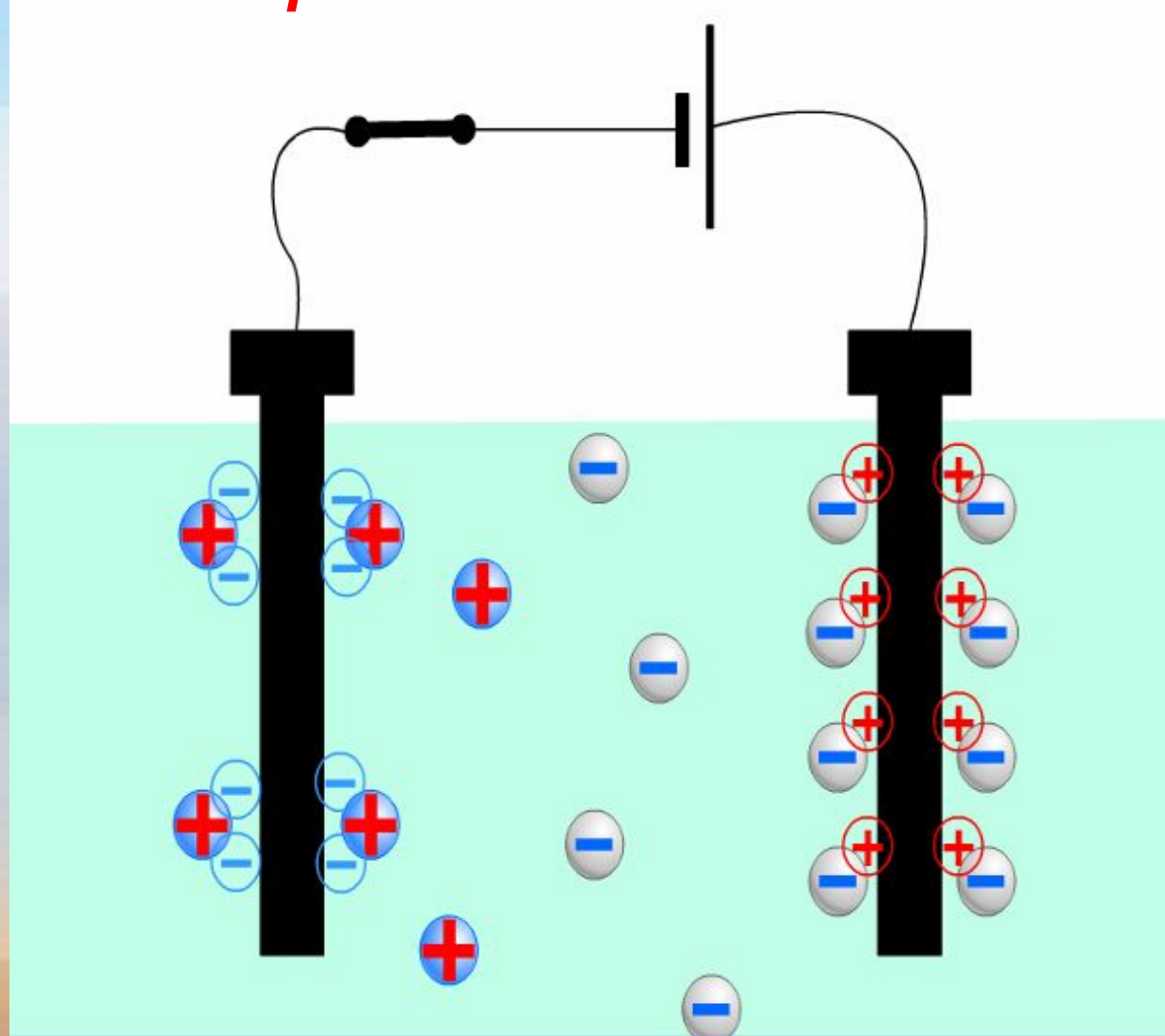


## Электролиз

На катоде и аноде выделяются вещества, входящие в состав раствора электролита.

Прохождение электрического тока через раствор электролита, сопровождающееся химическими превращениями вещества и выделением его на электродах, называется

**электролизом.**



## Закон электролиза

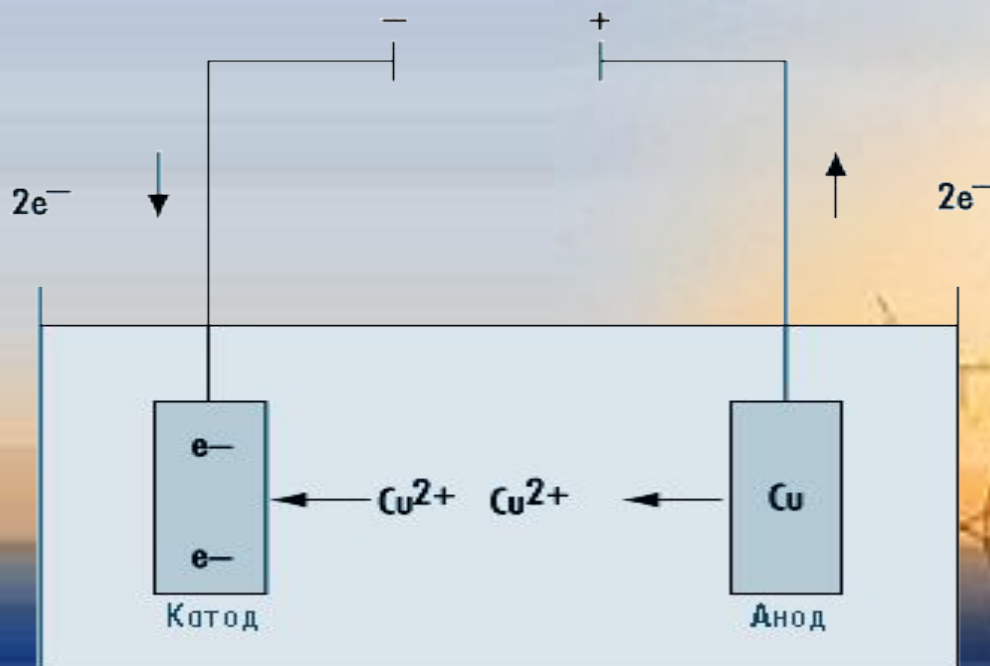
Масса  $m$  вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна заряду  $Q$ , прошедшему через электролит:

$$m = kQ = kIt.$$

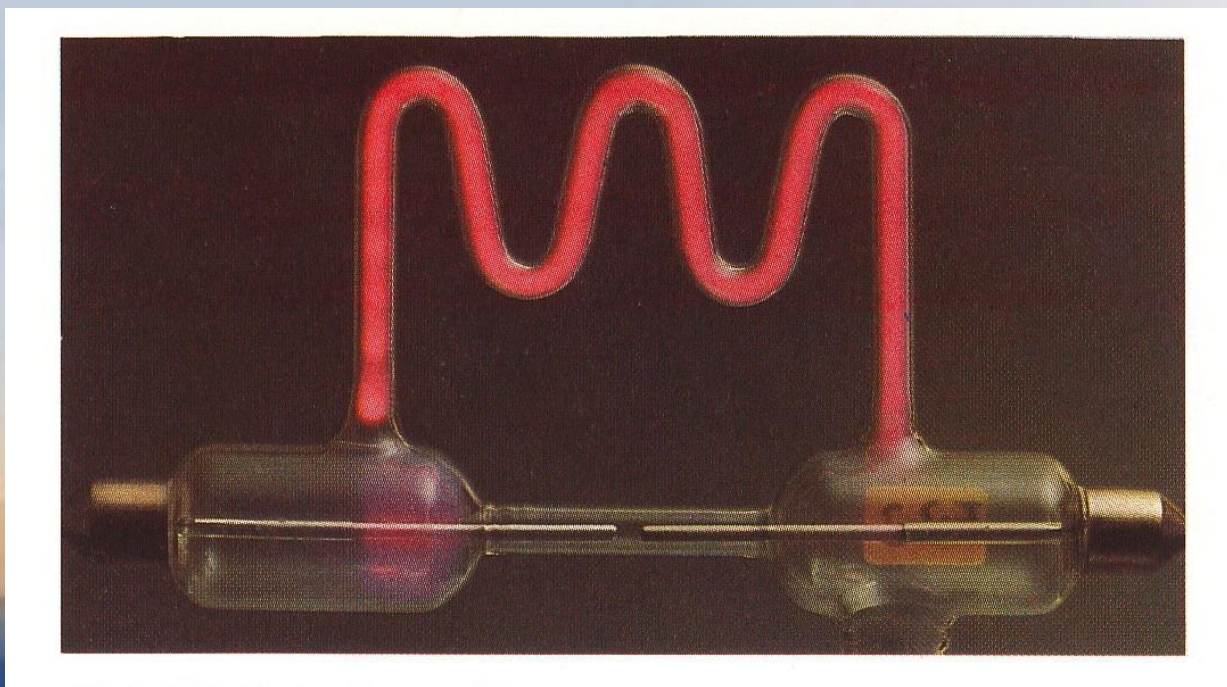
Это **закон электролиза**.

Величину  $k$  называют **электрохимическим эквивалентом**.

Опыты Фарадея показали, что масса выделившегося при электролизе вещества зависит не только от величины заряда, но и от рода вещества.



# Электрический ток в газах





## Электрический ток в газах

Газы в нормальном состоянии являются диэлектриками, так как состоят из электрически нейтральных атомов и молекул и поэтому не проводят электричества. Изолирующие свойства газов объясняются тем, что атомы и молекулы газов в естественном состоянии являются нейтральными незаряженными частицами. Отсюда ясно, что для того, чтобы сделать газ проводящим, нужно тем или иным способом внести в него или создать в нем свободные носители заряда – заряженные частицы. При этом возможны два случая: либо эти заряженные частицы создаются действием какого-нибудь внешнего фактора или вводятся в газ извне – **несамостоятельная проводимость**, либо они создаются в газе действием самого электрического поля, существующего между электродами – **самостоятельная проводимость**.



# Электрический ток в газах

- Проводниками могут быть только ионизированные газы, в которых содержатся электроны, положительные и отрицательные ионы.
- **Ионизацией** называется процесс отделения электронов от атомов и молекул. Ионизация возникает под действием высоких температур и различных излучений (рентгеновских, радиоактивных, ультрафиолетовых, космических лучей), вследствие столкновения быстрых частиц или атомов с атомами и молекулами газов. Образовавшиеся электроны и ионы делают газ проводником электричества.
- **Процессы ионизации:**
  - **электронный удар**
  - **термическая ионизация**
  - **фотоионизация**



# ***Типы самостоятельных разрядов***

**В зависимости от процессов образования ионов в разряде при различных давлениях газа и напряжениях, приложенных к электродам, различают несколько типов самостоятельных разрядов:**

- *тлеющий*
- *искровой*
- *коронный*
- *дуговой*



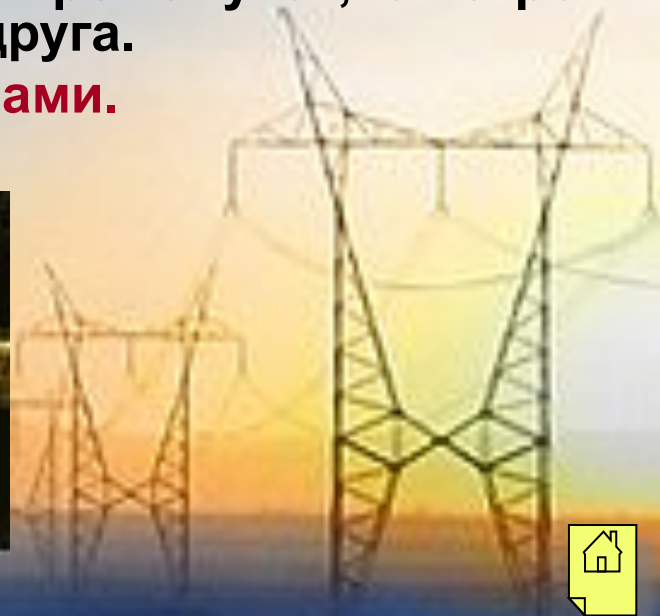
## Тлеющий разряд

- Тлеющий разряд возникает при низких давлениях (в вакуумных трубках). Для разряда характерна большая напряженность электрического поля и соответствующее ей большое падение потенциала вблизи катода.
- Его можно наблюдать в стеклянной трубке с впаянными у концов плоскими металлическими электродами.
- Вблизи катода располагается тонкий светящийся слой, называемый катодной светящейся пленкой



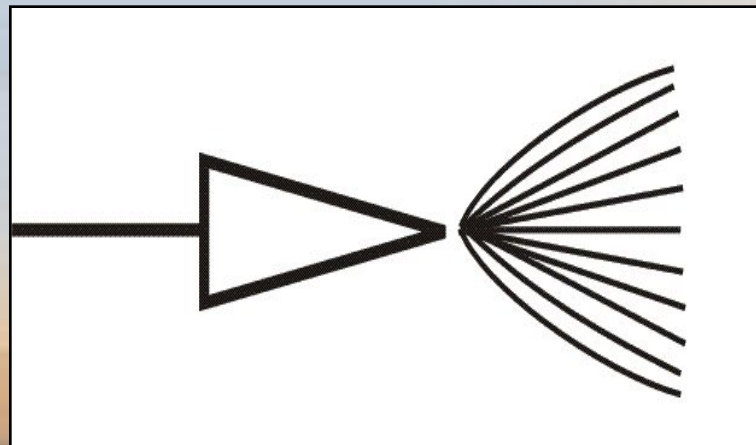
## Искровой разряд

- Искровой разряд – соединяющий электроды и имеющий вид тонкого изогнутого светящегося канала (стримера) с множеством разветвлений. **Искровой разряд возникает в газе обычно при давлениях порядка атмосферного  $P_{ат}$ .**
- По внешнему виду искровой разряд представляет собой пучок ярких зигзагообразных разветвляющихся тонких полос, мгновенно пронизывающих разрядный промежуток, быстро гаснущих и постоянно сменяющих друг друга.
- Эти полосы называют **искровыми каналами**.



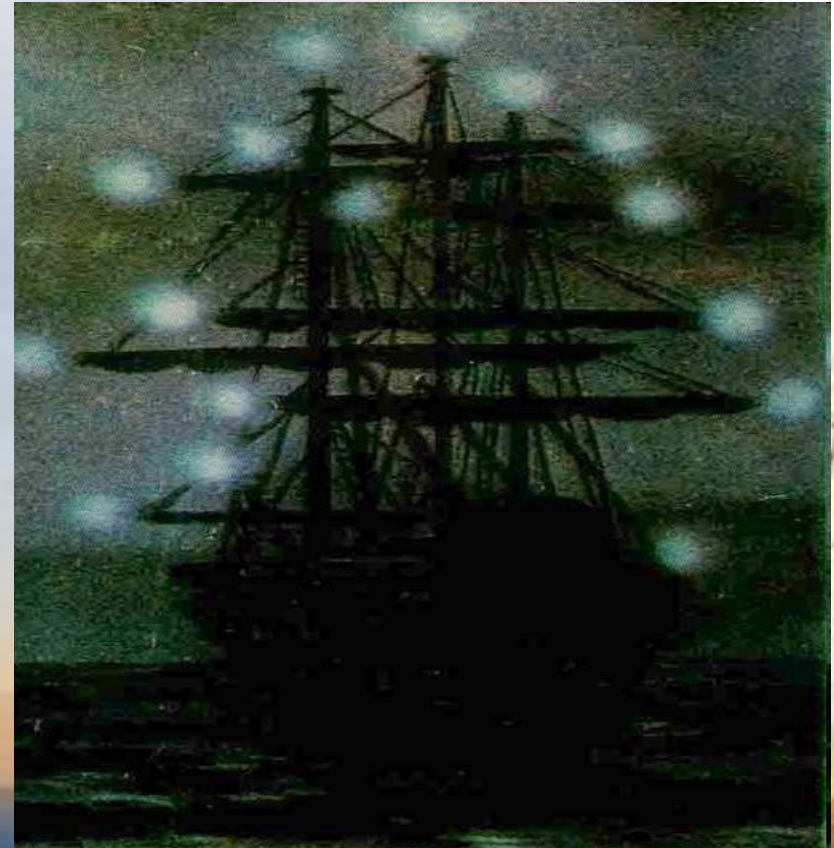
## *Коронный разряд*

- Коронный разряд наблюдается при давлении близком к атмосферному в сильно неоднородном электрическом поле. Такое поле можно получить между двумя электродами, поверхность одного из которых обладает большой кривизной (тонкая проволоочка, острие).
- Газ светится, образуя «корону», окружающую электрод.
- Коронные разряды являются источниками радиопомех и вредных токов утечки около высоковольтных линий передач (основной источник потерь).



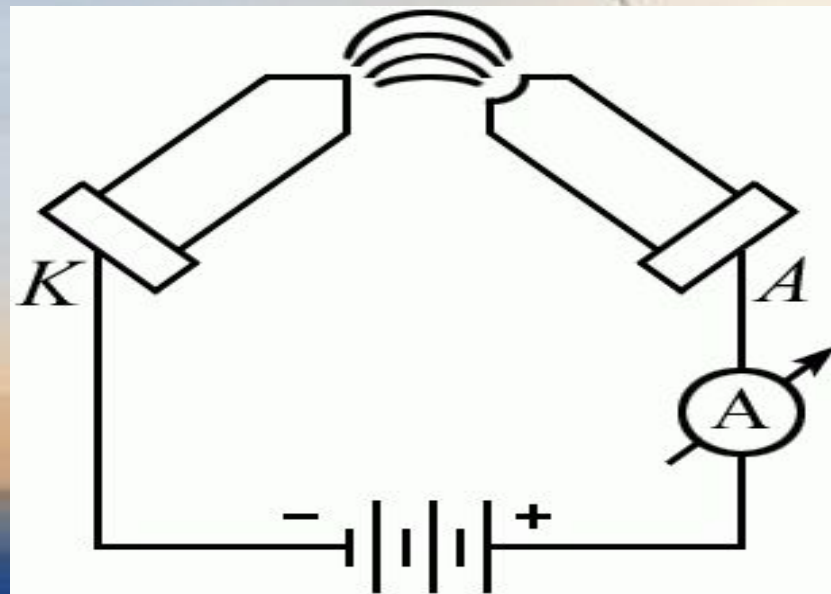
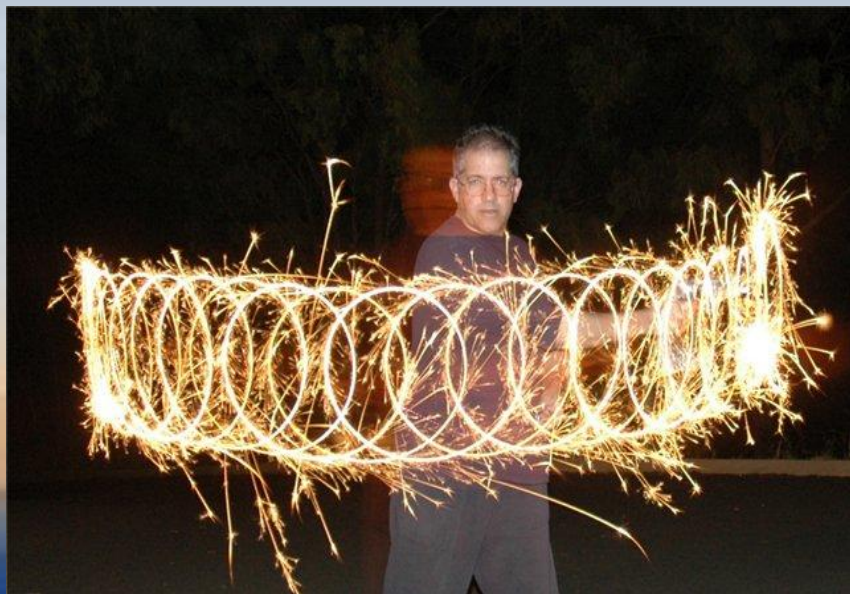
# Электрический ток в газах

В некоторых случаях коронный разряд с громоотвода бывает настолько сильным, что у острия возникает явно видимое свечение. Такое свечение иногда появляется и возле других заостренных предметов, например, на концах корабельных мачт, острых верхушек деревьев, и т.д. Это явление было замечено еще несколько веков тому назад и вызывало суеверный ужас мореплавателей, не понимавших истинной его сущности ( «Огни святого Эльма» )



## Дуговой разряд

- Если после получения искрового разряда от мощного источника постепенно уменьшать расстояние между электродами, то разряд из прерывистого становится непрерывным возникает новая форма газового разряда, называемая *дуговым разрядом*.
- $P_{ат}$
- $U=50-100 \text{ В}$
- $I = 100 \text{ А}$



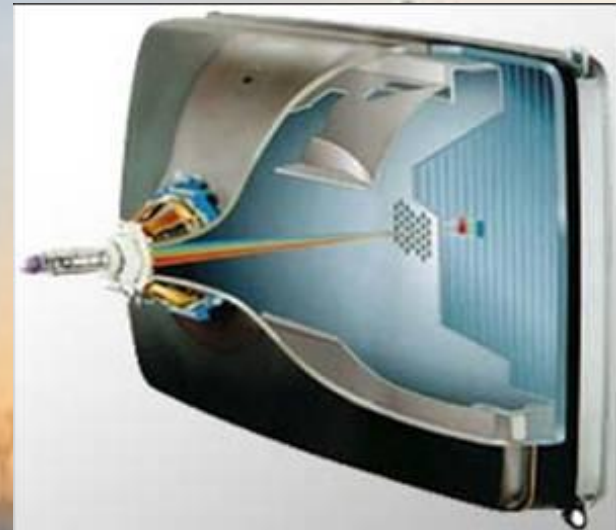


# Электрический ток в вакууме



## Вакуум

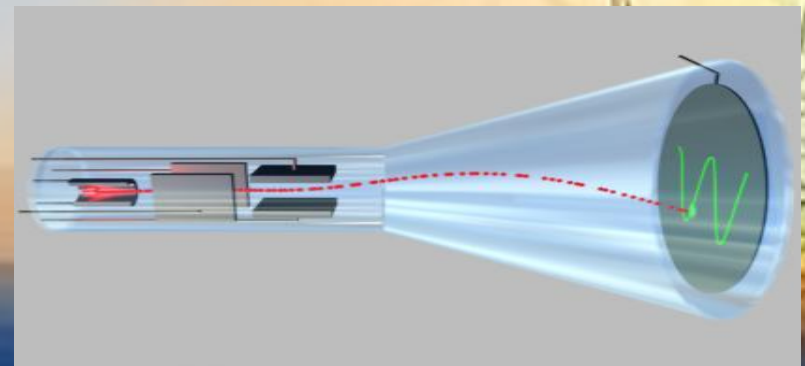
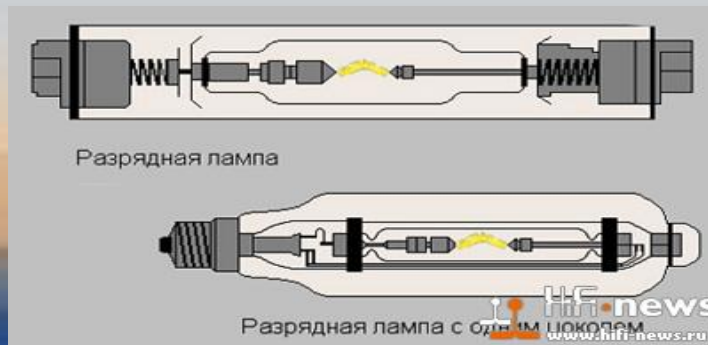
**Вакуум** - сильно разреженный газ, в котором средняя длина свободного пробега частицы больше размера сосуда. В результате в вакууме нет свободных носителей заряда, и самостоятельный разряд не возникает. Для создания носителей заряда в вакууме используют явление **термоэлектронной эмиссии**.



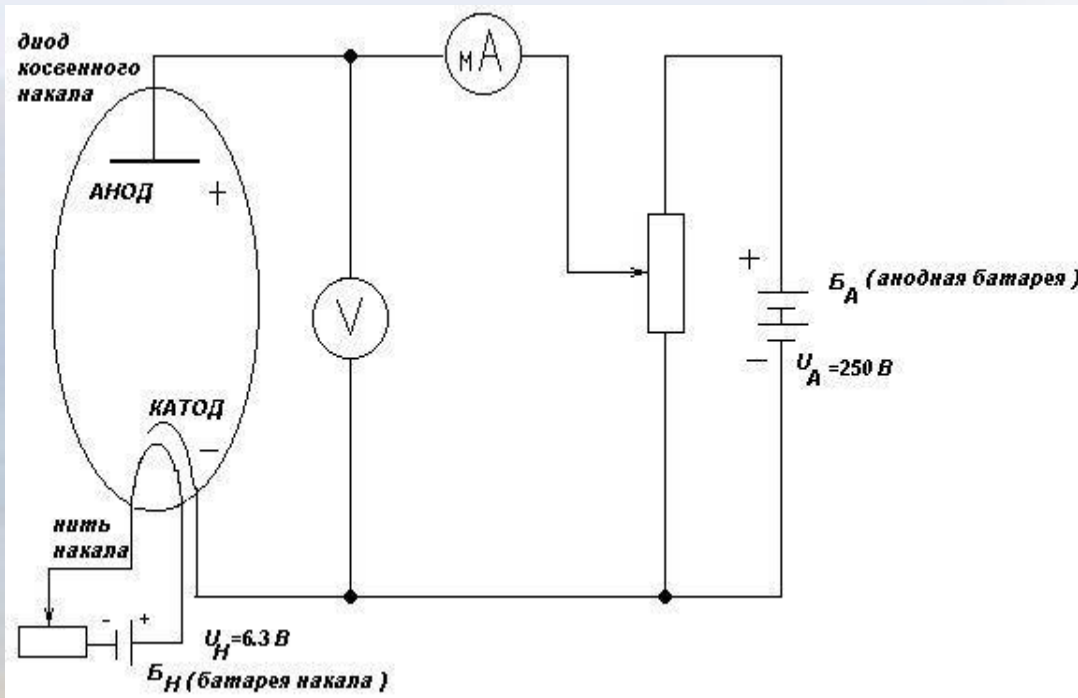
## Термоэлектронная эмиссия

Если два электрода поместить в герметичный сосуд и удалить из сосуда воздух, то электрический ток в вакууме не возникает - нет носителей электрического тока. Американский ученый Т. А. Эдисон (1847-1931) в 1879 г. обнаружил, что в вакуумной стеклянной колбе может возникнуть электрический ток, если один из находящихся в ней электродов нагреть до высокой температуры. Явление испускания свободных электронов с поверхности нагретых тел называется **термоэлектронной эмиссией**.

На явлении термоэлектронной эмиссии основана работа различных **электронных ламп**.



## Вакуумный диод



Вакуумный диод обладает односторонней проводимостью. При изменении полярности включения  $B_A$ , ток в анодной цепи не регистрируется.

