

# Электрический ток в различных средах

# Вещества

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



- Классическая электронная теория электропроводности металлов базируется на предположении о существовании свободно движущихся электронов внутри металлической решетки. Эти электроны обладают зарядом и свободно перемещаются под воздействием внешних электрических полей.
- Основной постулат классической электронной теории заключается в том, что свободные электроны подчиняются законам классической физики, описываемым уравнениями Максвелла.

**Экспериментальное доказательство существования свободных электронов в металлах.** Экспериментальное доказательство того, что проводимость металлов обусловлена движением свободных электронов, было дано в опытах Мандельштама и Папалекси (1913), Стюарта и Толмена (1916). Схема этих опытов такова.



**Л. И. Мандельштам**  
(1879—1944)



Рис. 16.1

Среда	Носители тока
Металл	Свободные электроны
Электролит	Положительные и отрицательные ионы
Газ	Ионы и электроны
Вакуум	Электроны
Полупроводник	Свободные электроны и дырки

## Зависимость сопротивления проводника от температуры.

- Для металлических проводников с ростом температуры
- увеличивается удельное сопротивление, увеличивается сопротивление проводника и уменьшается электрический 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
- $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления

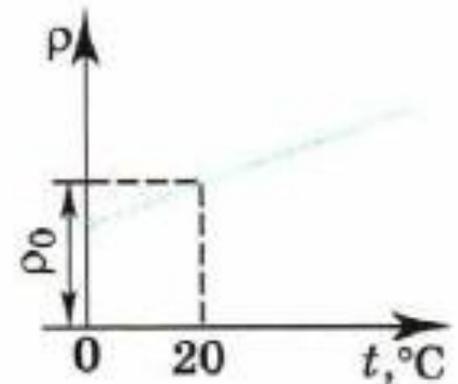
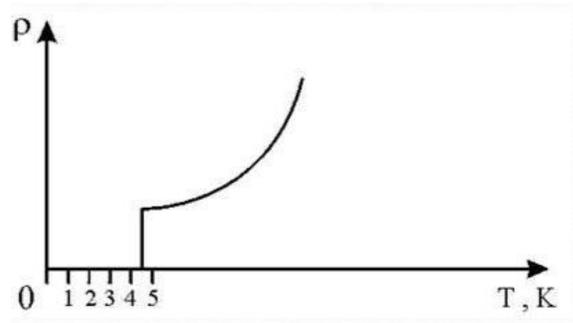


Рис. 16.2

# Сверхпроводимость

- В 1911 г. голландский физик Камерлинг-Оннес при охлаждении ртути в жидком гелии ее сопротивление сначала меняется постепенно, а затем при температуре 4,1К очень резко падает до нуля.
- Это явление было названо сверхпроводимостью. Позже было открыто много других сверхпроводников.
- Сверхпроводимость
- наблюдается при очень низких температурах - около 25К.



# Электрический ток в полупроводниках

- Электрическим током в полупроводниках называется направленное движение электронов к положительному полюсу, а дырок к отрицательному. Концентрация электронов проводимости в полупроводнике равна концентрации дырок:  $n = p$ . Электронно-дырочный механизм проводимости проявляется только у чистых (то есть без примесей) полупроводников. Он называется собственной электрической проводимостью полупроводников.

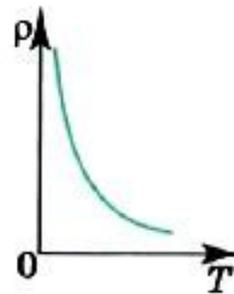


Рис. 16.4

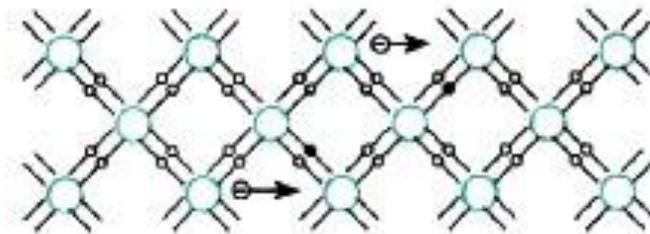
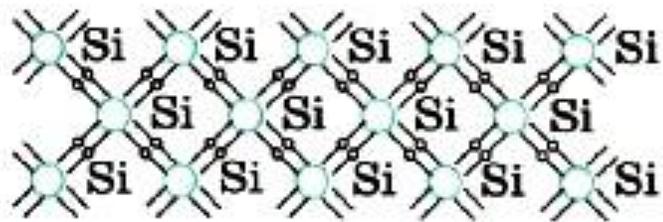
# Собственная и примесная

## проводимости

- Собственная проводимость - проводимость чистых полупроводников.

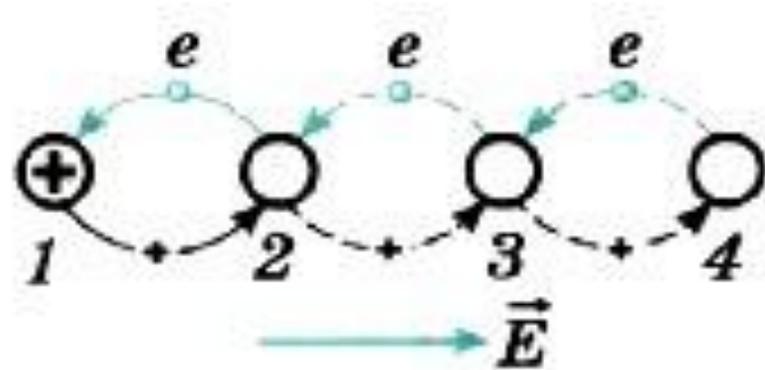
Примесная проводимость - проводимость, вызванная введением примесей.

Полупроводниковый диод представляет собой устройство, содержащее р-п-соединение и способное передавать ток только в одном направлении.



**Электронная проводимость** (проводимость  $n$ -типа), проводимость вещества, **основными носителями** заряда в котором являются **электроны**.  
Электронная проводимость реализуется в **металлах**, а также в **полупроводниках**, когда концентрация **доноров** превышает концентрацию **акцепторов** (полупроводники  $n$ -типа).

Непрерывно происходит следующий процесс. Один из электронов, обеспечивающих связь атомов, перескакивает на место образовавшейся дырки и восстанавливает здесь парноэлектронную связь, а там, откуда перескочил этот электрон, образуется новая дырка.



Проводимость, обусловленная движением дырок, называется **дырочной проводимостью** полупроводников.

Проводимость чистых полупроводников называют **собственной проводимостью**.

- электрический ток идёт во всей цепи: от положительного контакта через область р-типа к р—n-переходу, затем через область n-типа к отрицательному контакту (рис. 16.12). Проводимость всего образца велика, а сопротивление мало. Чем больше подаваемое на контакт напряжение, тем
- Зависимость силы тока от разности потенциалов — вольт-амперная характеристика прямого перехода — изображена на рисунке (16.13) сплошной линией. больше сила тока.

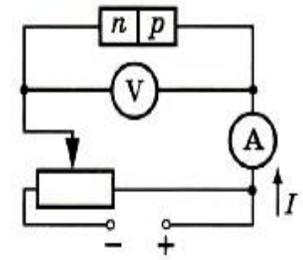


Рис. 16.12

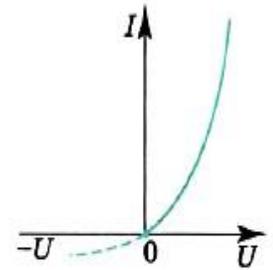


Рис. 16.13

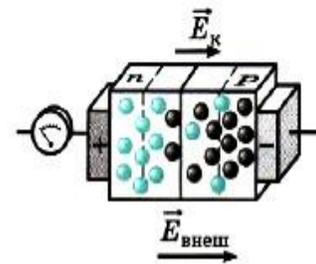


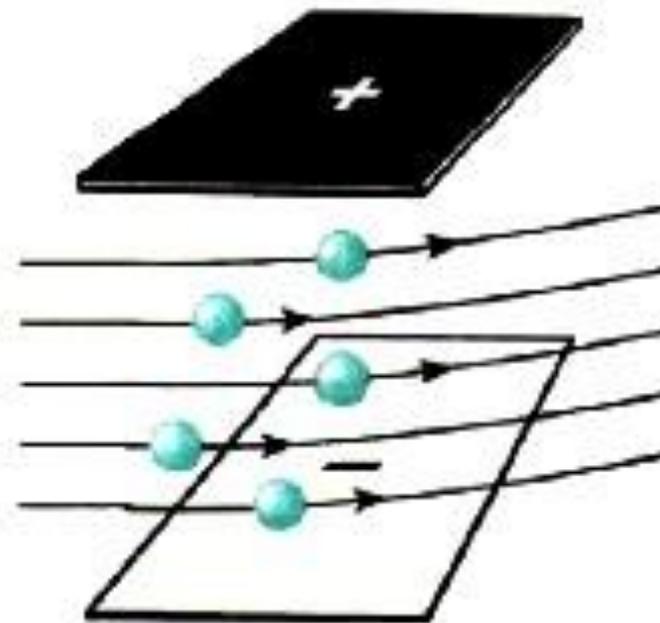
Рис. 16.14

# Электрический ток в вакууме

- Ток в вакууме не может существовать самостоятельно, так как вакуум является диэлектриком. В таком случае создать ток можно с помощью термоэлектронной эмиссии. Термоэлектронная эмиссия – явление, при котором электроны выходят из металлов при нагревании. Такие электроны называются терм

## ЭМИТТЕР

Электронные пучки отклоняются электрическим полем. Например, проходя между пластинами конденсатора, электроны отклоняются от отрицательно заряженной пластины к положительно заряженной (рис. 16.20).



**Электронно-лучевая трубка.** Возможность управления электронным пучком с помощью электрического или магнитного поля и свечение покрытого люминофором экрана под действием пучка применяют в электронно-лучевой трубке.

Электронно-лучевая трубка была основным элементом первых телевизоров и осциллографа — прибора для исследования быстропеременных процессов в электрических цепях (рис. 16.21).

Устройство электронно-лучевой трубки показано на рисунке 16.22. Эта трубка представляет собой вакуумный баллон, одна из стенок которого служит экраном. В узком конце трубки помещён источник быстрых электронов — *электронная пушка*



Рис. 16.21

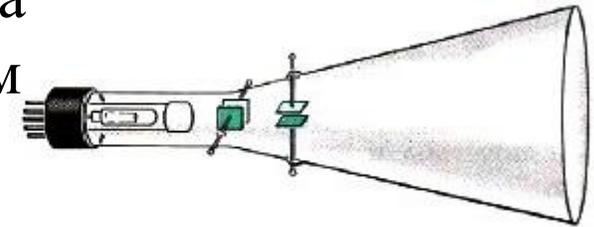


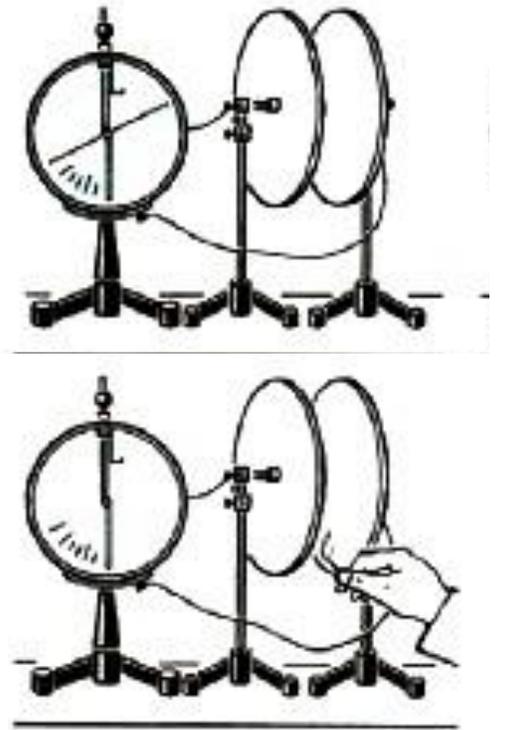
Рис. 16.22

# Электрический ток в газах

В обычных условиях газ - это диэлектрик, т.е. он состоит из нейтральных атомов и молекул и не содержит свободных носителей эл.тока. Газ-проводник - это ионизированный газ. Ионизированный газ обладает электронно-ионной проводимостью.

Воздух является диэлектриком в линиях электропередач, в воздушных конденсаторах, в контактных выключателях.

Воздух является проводником при возникновении молнии, электрической искры, при возникновении сварочной дуги.



## Несамостоятельный и самостоятельный разряды.

Электрические разряды в газе можно разделить на два вида: **самостоятельные**(16.31) и **несамостоятельные**(16.30).

**Несамостоятельные разряды** – разряды, которые происходят только при наличии внешнего ионизатора и прекращаются при его устранении. **Самостоятельные разряды** – разряды, происходящие и при отсутствии ионизаторов.

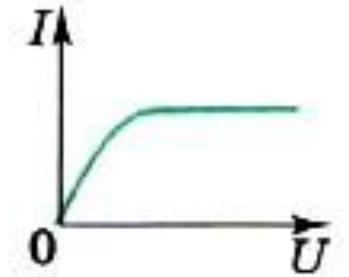


Рис. 16.30

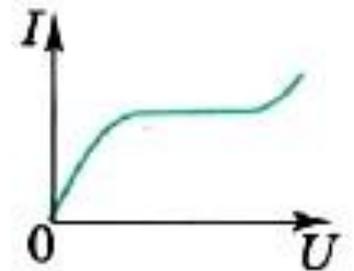


Рис. 16.31

# Электрический ток в жидкостях

**Электролитическая диссоциация** – распад молекул на ионы под действием электрического поля.

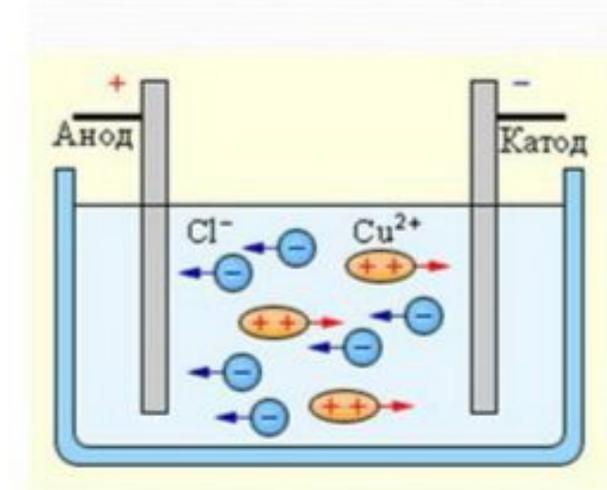
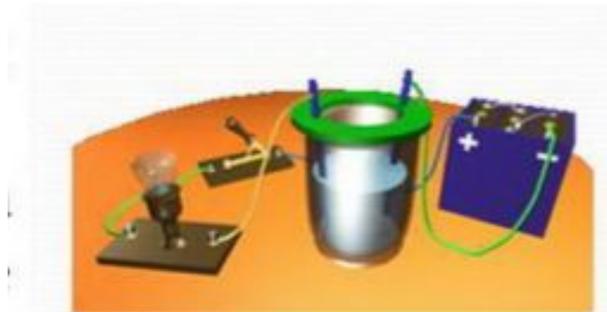
**Электролиз** – это процесс выделения на электроде вещества в процессе окислительно-восстановительных реакций.

**Закон Фарадея** (1833г.):

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

$$m = kI\Delta t$$

где  $k$  – электрический эквивалент



Электролиз водного раствора хлорида меди

# Плазма

- **Плазма** — это частично или полностью ионизованный газ, в котором локальные плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают.
- Таким образом, плазма в целом является электрически нейтральной системой. В зависимости от условий степень ионизации плазмы (отношение числа ионизованных атомов к их полному числу) может быть различной. В полностью ионизованной плазме нейтральных атомов нет.
- **Свойства плазмы.** Плазма обладает рядом специфических свойств, что позволяет рассматривать её как особое, четвёртое состояние вещества.
- Из-за большой подвижности заряженные частицы плазмы легко перемещаются под действием электрических и магнитных полей. Поэтому любое нарушение электрической нейтральности отдельных областей плазмы, вызванное скоплением частиц одного знака заряда, быстро ликвидируется.

# Задачи

1. Проводящая сфера радиусом  $R = 5$  см помещена в электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса. Насколько увеличится масса сферы, если отложение меди длится  $t = 30$  мин, а электрический заряд, поступающий на каждый квадратный сантиметр поверхности сферы за 1 с,  $q = 0,01$  Кл? Мо
2. При электролизе, длившемся в течение одного часа, сила тока была равна 5 А. Чему равна температура выделившегося атомарного водорода, если при давлении, равном  $10^5$  Па, его объём равен 1,5 л? Электрохимический эквивалент водорода лярная масса меди  $M = 0,0635$  кг/моль.
3. При никелировании изделия в течение 1 ч отложился слой никеля толщиной  $l = 0,01$  мм. Определите плотность тока, если молярная масса никеля  $M = 0,0587$  кг/моль, валентность  $n = 2$ , плотность никеля  $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

# Р е ш е н и я

1. Площадь поверхности сферы  $S = 4\pi R^2 = 314 \text{ см}^2$ .  
Следовательно, заряд, перенесённый ионами за  $t = 30 \text{ мин} = 1800 \text{ с}$ , равен  $\Delta q = qSt = 0,01 \text{ Кл}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}) \cdot 314 \text{ см}^2 \cdot 1800 \text{ с} = 5652 \text{ Кл}$ . Масса выделившейся меди равна:  $m = \frac{M}{neN_A} \Delta q \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ .

2. Из уравнения Менделеева—Клапейрона  $\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$ , где  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ ;  $M$  — молярная масса атомарного водорода, определим массу водорода, полученного при электролизе:

$$m = \frac{pVM}{TR}. \quad \dots \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) определим температуру:

$$T = \frac{pVM}{RkIt} \approx 100 \text{ К}.$$

# Р е ш е н и я

- 3 Р е ш е н и е. Согласно закону электролиза Фарадея масса выделившегося на катоде никеля

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It, \quad (1)$$

где  $m = \rho V = \rho lS$ , а  $I = jS$ , где  $S$  — площадь покрытия никелем;  $F$  — постоянная Фарадея,  $F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$ .  
Подставив выражения для массы никеля и силы тока  $I$  в формулу (1), получим  $\rho lS = \frac{1}{F} \frac{M}{n} jSt$ , откуда  $j = \frac{\rho lFn}{Mt} \approx 81 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$ .

# Задачи для самостоятельного решения

- 1. Однородное электрическое поле напряжённостью  $E$  создано в металле и в вакууме. Одинаковое ли расстояние пройдёт за одно и то же время электрон в том и другом случаях? Начальная скорость электрона равна нулю.
- 2. Длинная проволока, на концах которой поддерживается постоянное напряжение, накалилась докрасна. Половину проволоки опустили в холодную воду. Почему часть проволоки, оставшаяся над водой, нагревается сильнее?
- 3. Спираль электрической плитки перегорела и после соединения концов оказалась несколько короче. Как изменилось количество теплоты, выделяемой плиткой за единицу времени?
- 4. Алюминиевая обмотка электромагнита при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребляет мощность  $5\text{ кВт}$ . Чему будет равна потребляемая мощность, если во время работы температура обмотки повысится до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а напряжение останется неизменным? Что будет, если неизменной останется сила тока в обмотке? Температурный коэффициент сопротивления алюминия  $3,8 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ .
- 5. Концентрация электронов проводимости в кремнии при комнатной температуре  $n_1 = 10^{17}\text{ м}^{-3}$ , а при  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $n_2 = 10^{24}\text{ м}^{-3}$ . Какую часть составляет число электронов проводимости от общего числа атомов кремния? Плотность кремния  $2300\text{ кг/м}^3$ .

Тест.