

Физика. Занятие №2, 16.09.2024

Рудяк А.С., СГУ им. Чернышевского
2 курс, «Программная инженерия»

Саратов, 2024

Содержание

Ток проводимости	2
Закон Ома для однородного проводника	4
Правила Кирхгофа	5
Закон Джоуля-Ленца	7
Закон электролиза Фарадея	8
Электрический ток в газах	11

Ток проводимости

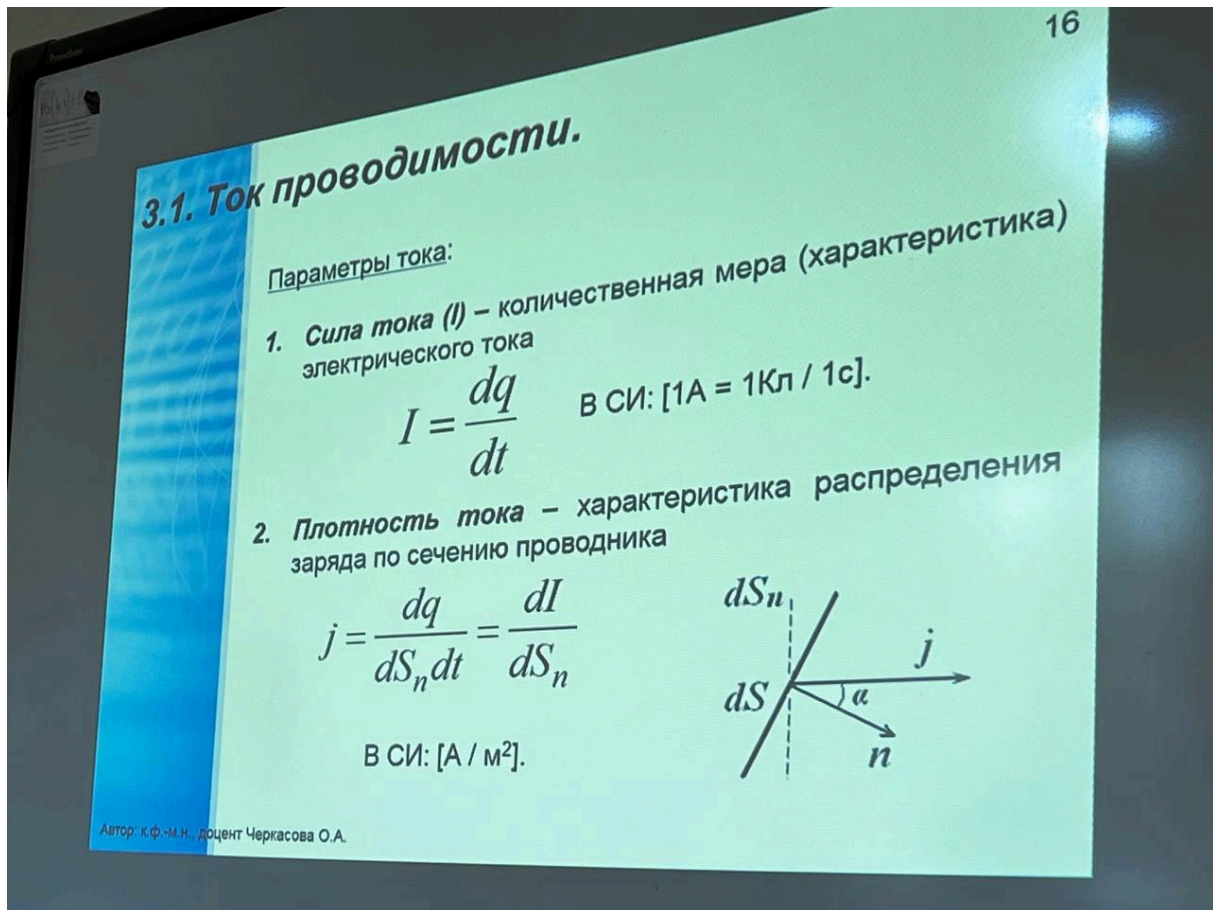
Носители зарядов совершают сложное движение:

1. Хаотическое со средней скоростью $v \sim \sqrt{kT}$
2. Направленное со средней скоростью $v \sim E$ (доли мм/с)

За направление тока условно принято направление положительных зарядов.

Параметры тока:

1. Сила тока (I) — количественная мера (характеристика) электрического тока $I = \frac{dq}{dt}$ В СИ: $[1\text{А} = \frac{1\text{ Кл}}{1\text{с}}]$
2. Плотность тока — характеристика распределения заряда по сечению проводника $j = \frac{dq}{dS_n dt} = \frac{dI}{dS_n}$ В СИ: $[\frac{\text{А}}{\text{м}^2}]$



$$dI = \vec{j} d\vec{S} = j dS \cos(\angle \vec{j}, d\vec{S}) = j ds \cos(\alpha) = j dS_n.$$

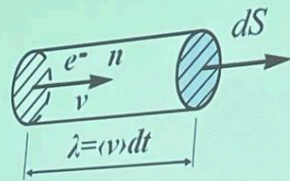
$$!! I = \int_S \vec{j} d\vec{S}$$

3.1. Ток проводимости.

Параметры тока:

$$dI = \vec{j} d\vec{S} = j dS \cos(\angle \vec{j}, d\vec{S}) = j dS \cos \alpha = j dS_n.$$

$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S}.$$



e – элементарный заряд.

n – концентрация зарядов в объеме проводника

$\langle v \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов

Автор: К.Ф. М.Н., доцент Черкасова О.А.

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{nedV}{dt} = \frac{ne\langle v \rangle dS}{dt} = \frac{nevdt dS}{dt} = ne\langle v \rangle dS$$

$$!! j = \frac{I}{dS} = ne\langle v \rangle$$

Потенциал φ и плотность заряда ρ остаются неизменными, т.е. ρ не зависит от времени t , ток называется **стационарным** $\text{div} \vec{j} = 0$

1. Физическая величина, численно равная работе сторонней силы по переносу единичного положительного заряда внутри источника — электродвижущая сила (ЭДС):

$$\varepsilon = \frac{A}{q_{0+}}$$

ЭДС в замкнутой цепи может быть определена как циркуляция вектора напряженности сторонних сил

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}$$

на заряды на участке цепи, в котором есть источник тока, действуют кулоновские и сторонние силы.

Напряжение на участке цепи:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon$$

Закон Ома для однородного проводника

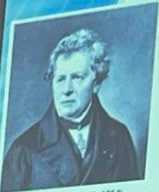
Сила тока, протекающего по однородному проводнику, пропорциональна разности потенциалов на его концах

$$R = \rho \frac{l}{S}, I = \frac{U}{R}, jS = \frac{El}{\rho l} = \frac{ES}{\rho}$$

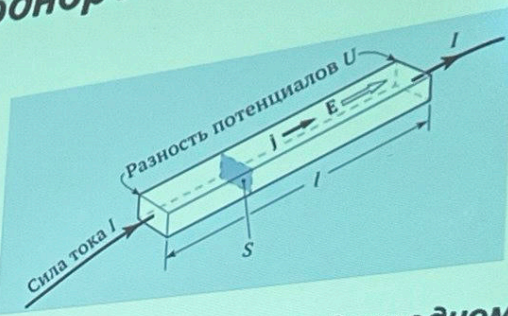
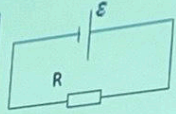
Сопротивление проводника зависит от его температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t) \quad R = R_0(1 + \alpha \cdot t)$$

3.2. Закон Ома для однородного проводника.



Георг Симон Ом (1789–1854)



Сила тока, протекающего по однородному проводнику, пропорциональна разности потенциалов на его концах

$$I = \frac{U}{R}, \quad jS = \frac{El}{\rho l/S} = \frac{ES}{\rho}$$
$$R = \rho \frac{l}{S},$$

Сопротивление проводника зависит от его температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t),$$
$$R = R_0(1 + \alpha \cdot t),$$

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

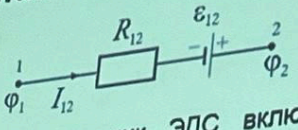
Закон Ома в локальной форме: в однородном материале плотность тока в любой точке пропорциональна величине электрического поля:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \text{ где } \sigma = \frac{1}{\rho} - \text{уд. электропроводимость среды}$$

В случае стационарных токов макроскопические электрические заряды могут находиться только на поверхности или в местах неоднородности проводящей среды.

4

3.3. Закон Ома для неоднородного проводника.



$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \varepsilon_{12}}{R}$$

Если источник ЭДС включен таким образом, что в направлении протекания тока он повышает потенциал электрической цепи, то он берется с «+»

Сила тока, протекающего по неоднородному проводнику, пропорциональна сумме разности потенциалов на его концах и ЭДС сторонних сил

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r_i}$$

где ε — ЭДС источника тока,
 r_i — его внутреннее сопротивление,
 R — сопротивление внешней цепи.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

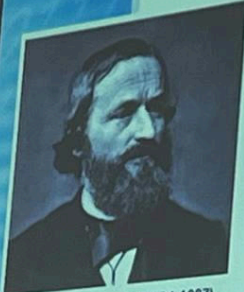
Если источник ЭДС включен таким образом, что в направлении протекания тока он повышает потенциал электрической цепи, то он берется с «+»

Сила тока, протекающего по неоднородному проводнику, пропорциональна сумме разности потенциалов на его концах и ЭДС сторонних сил

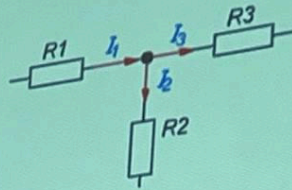
$I = \frac{\varepsilon}{R + r_i}$, где ε — ЭДС, r_i — сопротивление внутреннее, R — сопротивление внешнее.

Правила Кирхгофа

3.4. Правила Кирхгофа



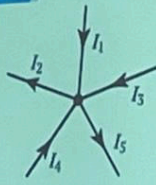
Густав Роберт Кирхгоф (1824-1887)



$$I_1 = I_2 + I_3$$

Формулировка №1: Сумма всех токов, втекающих в узел, равна сумме всех токов, вытекающих из узла.

Формулировка №2: Алгебраическая сумма всех токов в узле равна нулю.



$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Формулировка 1: Сумма всех токов, втекающих в узел равна сумме всех токов вытекающих из узла

Формулировка 2: Алгебраическая сумма всех токов равна нулю.

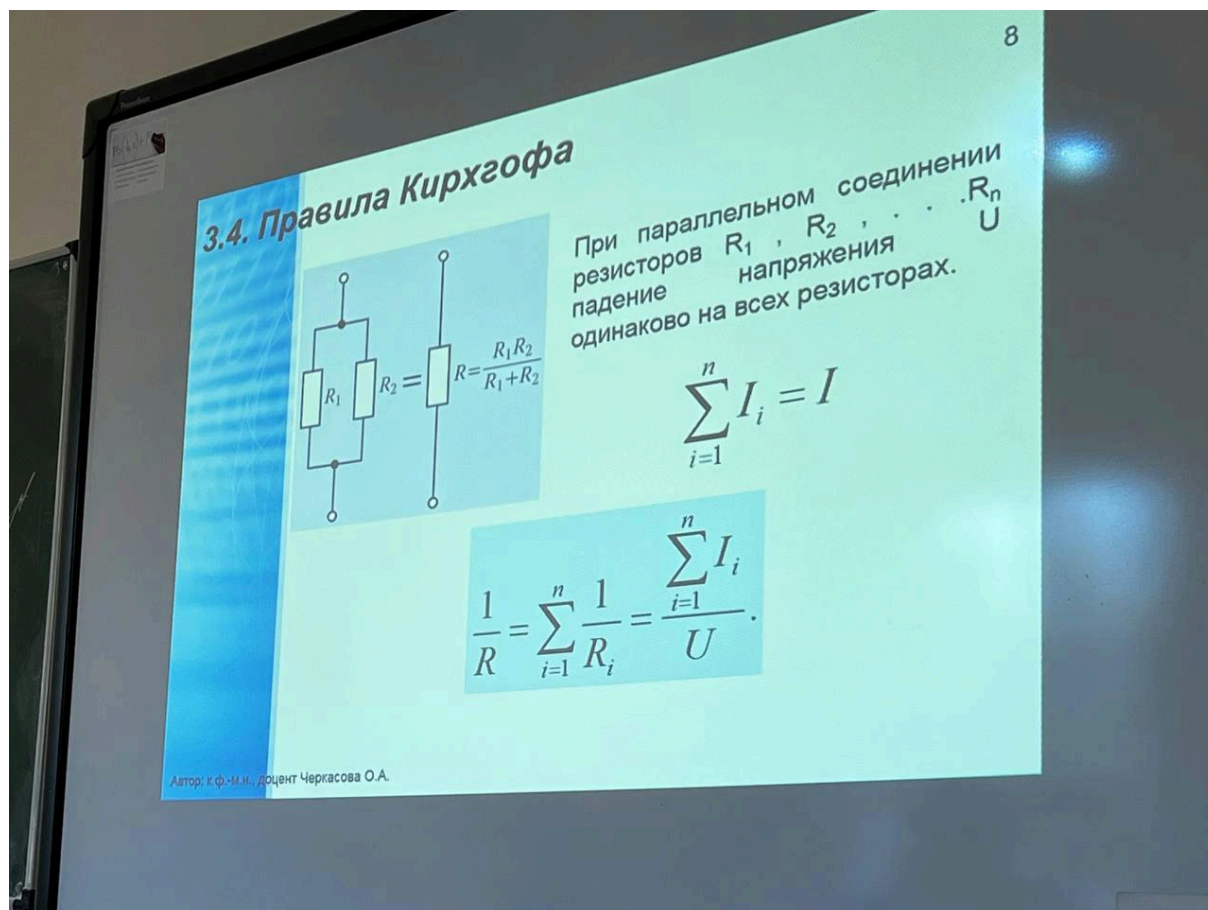
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Формулировка: Алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения на всех резистивных элементах в этом контуре

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^k \varepsilon_{id}$$

Необходимые условия:

1. Произвольный замкнутый контур обходится в одном направлении через все его участки и элементы.
2. Если в разветвленной цепи имеется N узлов, то число уровней составленных по 1 з-ну (N - 1). Число независимых уравнений по 2 з-ну равно наименьшему числу разрывов, которые слудует сделать в цепи, чтобы нарушить все контуры.



При параллельном соединении резисторов R_1, R_2, \dots, R_n падение напряжения U одинаково на всех резисторах.

$$\sum_{i=1}^n I_i = I$$

$$!! \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{U}$$

Закон Джоуля-Ленца

Если в проводнике устанавливается равновесие, то работа электрического тока должна быть равна потерям энергии на этом участке цепи.

$$dA = dq * (\varphi_1 - \varphi_2) = I(\varphi_1 - \varphi_2)dt$$

$$P = \frac{dA}{dt} = I(\varphi_1 - \varphi_2) = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

$$!! Q = I^2 R t + I^2 r t = I^2 (R + r) t$$

Этот закон был экспериментально открыт в 1841 году Дж. Джоулем и независимо от него в 1842 году Э.Х.Ленцем.

Формулировка: Удельная тепловая мощность тока пропорциональна квадрату плотности электрического тока и удельному сопротивлению среды в данной точке.

$$P_{\text{уд}} = \frac{dQ}{V dt} = \frac{P}{t} = \rho j^2$$

$$P_{\text{уд}} = \vec{j} \cdot \vec{E} = \sigma E^2$$

Закон электролиза Фарадея

Электролитами в широком смысле слова называются вещества, химически разлагающиеся на составные части, когда по ним проходит электрический ток.

Разложение электролита на его составные части под действием электрического тока называется электролизом.

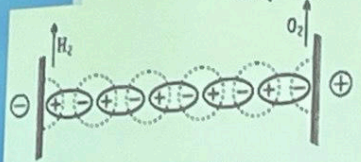
Первая гипотеза для объяснения электролиза была предложена Гроттусом в 1805 г. Согласно этой гипотезе молекулы растворенного вещества состоят из двух частей, из которых одна заряжена положительно, а другая — отрицательно. Данный механизм доказан в 2015 году.

части ...
называется электролизом

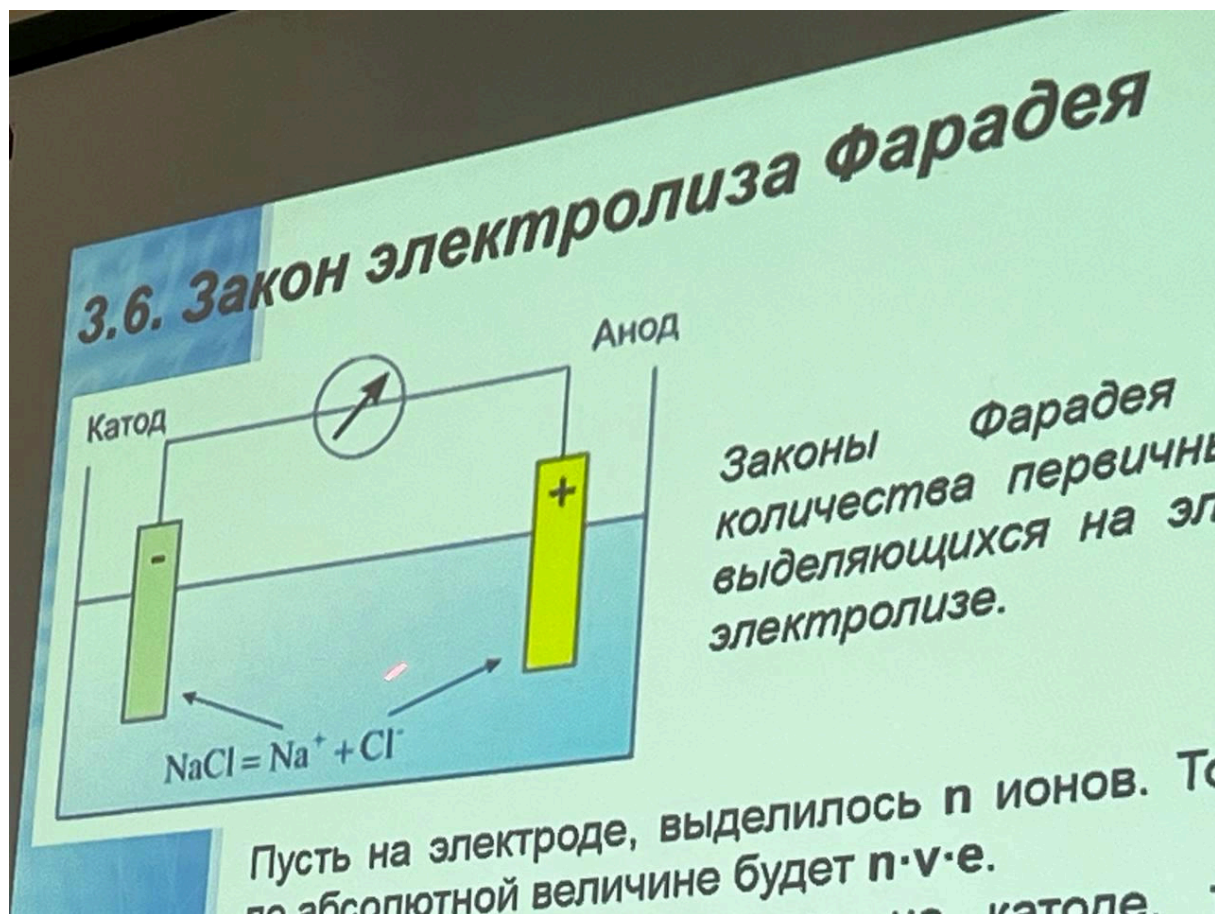
Первая гипотеза для объяснения электролиза была предложена Гроттусом в 1805 г. Согласно этой гипотезе молекулы растворенного вещества состоят из двух частей, из которых одна заряжена положительно, а другая отрицательно.

Кристиан Йоганн Дитрих фон Гроттус (с 1805 известен как Теодор Гроттус)
20 января 1785 г. – 26 марта 1822 г.

Механизм Гротгуса доказан в 2015 году.



Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.



Законы Фарадея определяют количества первичных продуктов, выделяющихся на электродах при электролизе.

Пусть на электроде выделилось n ионов. Тогда их заряд по абсолютной величине будет nve . Если эти ионы выделились на катоде, то их заряд нейтрализуется электронами, подтекающими к катоду по проводам, соединяющим его с источником тока. Если же они выделяются на аноде, то такое же количество электронов по проводам утечет от анода. В обоих случаях через цепь пройдет количество электричества $q = nve$

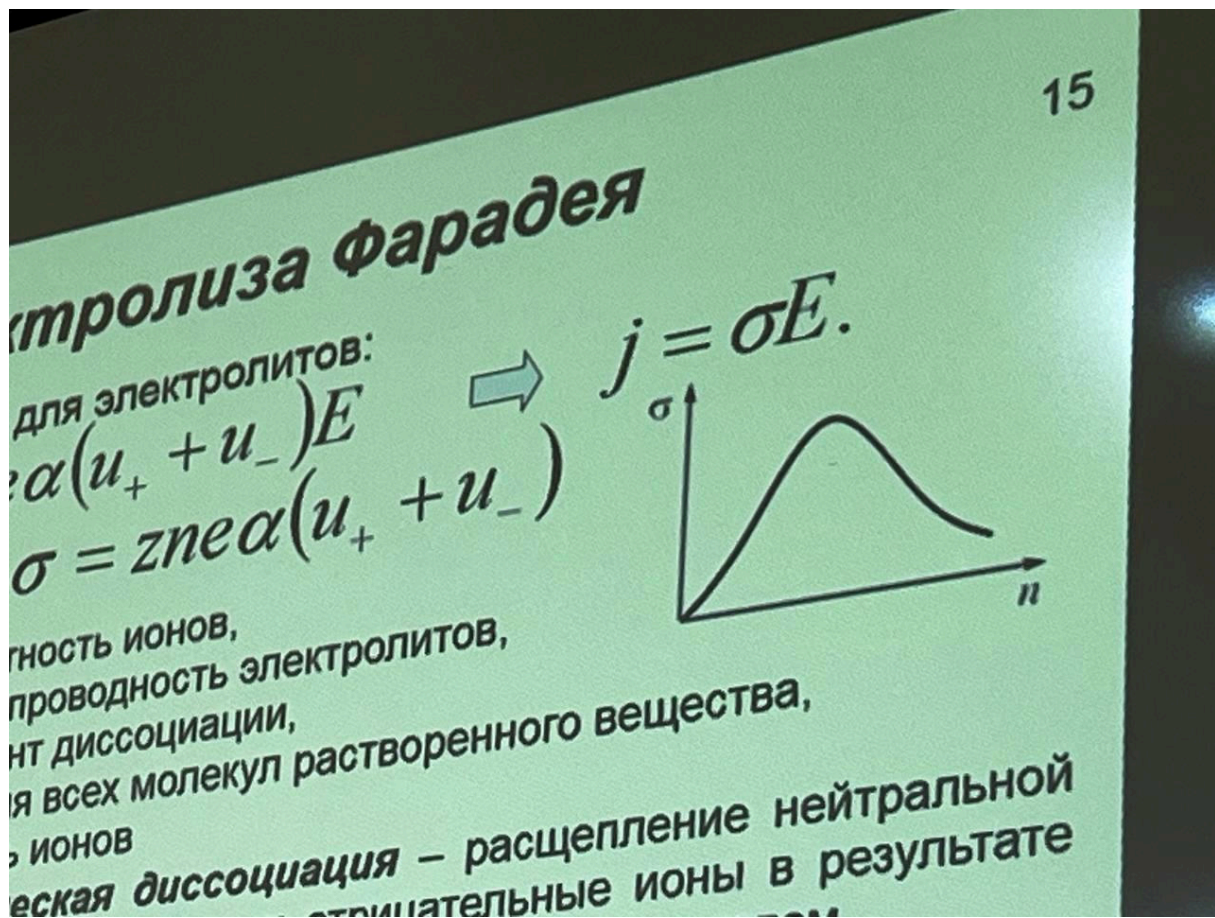
Первый закон Фарадея: масса вещества, выделяющегося при электролизе на каждом электроде, пропорциональна количеству прошедшего электричества:

$$M = kQ = kIt$$

Второй закон утверждает, что эта масса пропорциональна электрохимическому эквиваленту k

$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z}$, где $A = N_A \cdot m$ — атомная масса элемента, z — валентность, $F = 96485.3$ Кл/моль — постоянная Фарадея

$$M = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} Q, F = Ne$$



Закон Ома для электролитов:

$$j = zne\alpha(u_+ + u(-))E \Rightarrow j = \sigma E$$

$\sigma = zne\alpha(u_+ + u(-))$, где z – валентность ионов, σ – уд.

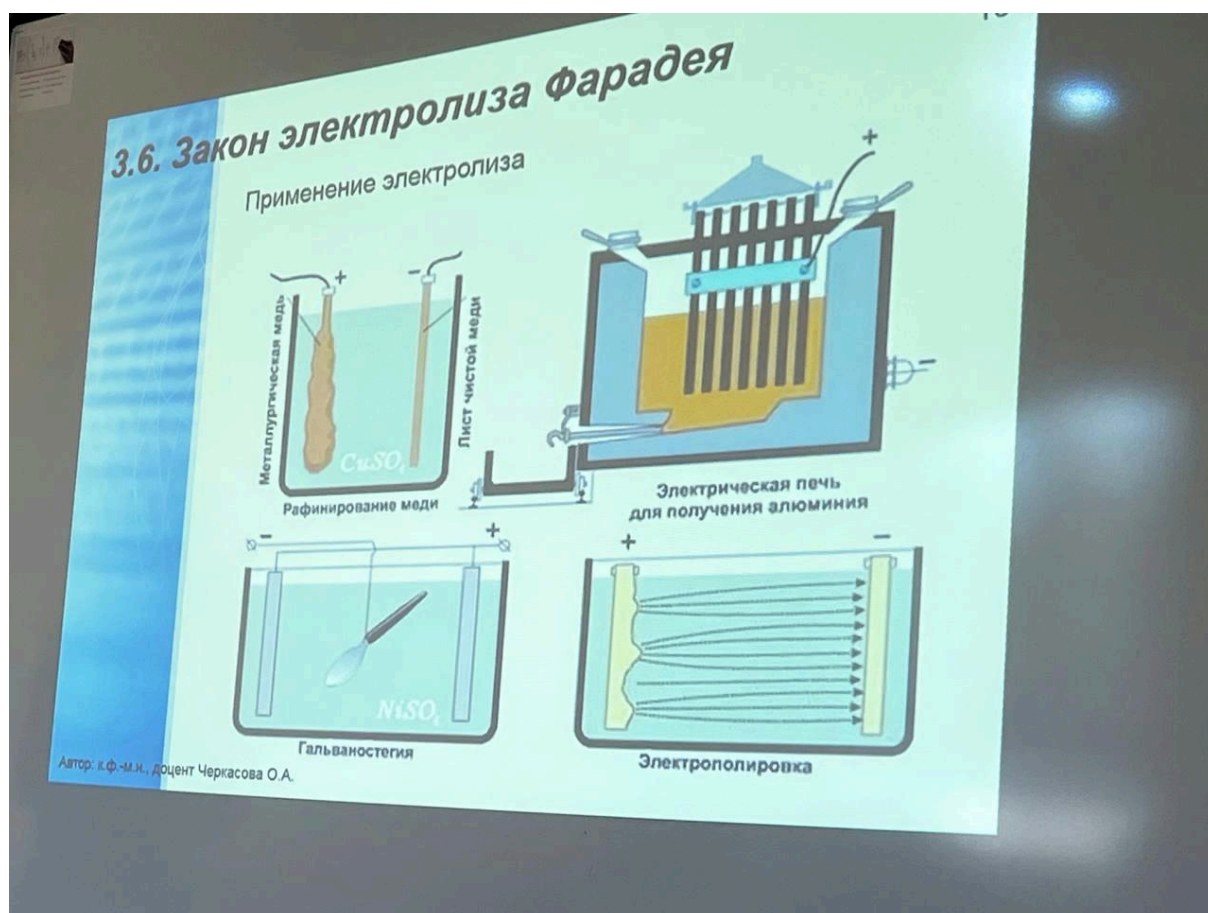
электропроводность электролитов, α – коэффициент диссоциации, n – концентрация всех молекул растворенного вещества, u – подвижность ионов

Электролитическая диссоциация – расщепление нейтральной молекулы на положительные и отрицательные ионы в результате взаимодействия растворенного вещества с растворителем.

Процесс образования нейтральной молекулы при столкновении положительного и отрицательного ионов называется рекомбинацией (молизацией).

При увеличении температуры подвижность ионов растет, а сопротивление уменьшается

Применение электролиза:



Электрический ток в газах

Процесс ионизации заключается в том, что под действием высокой температуры или некоторых лучей молекулы газа теряют электроны, и тем самым превращаются в положительные ионы.

Ионизация газа может происходить под действием коротковолнового излучения — ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-лучей, а также альфа, бета- и космических лучей.

Электрический ток, возникающий в процессе ионизации газа — ток в газах — это встречный поток ионов и свободных электронов.

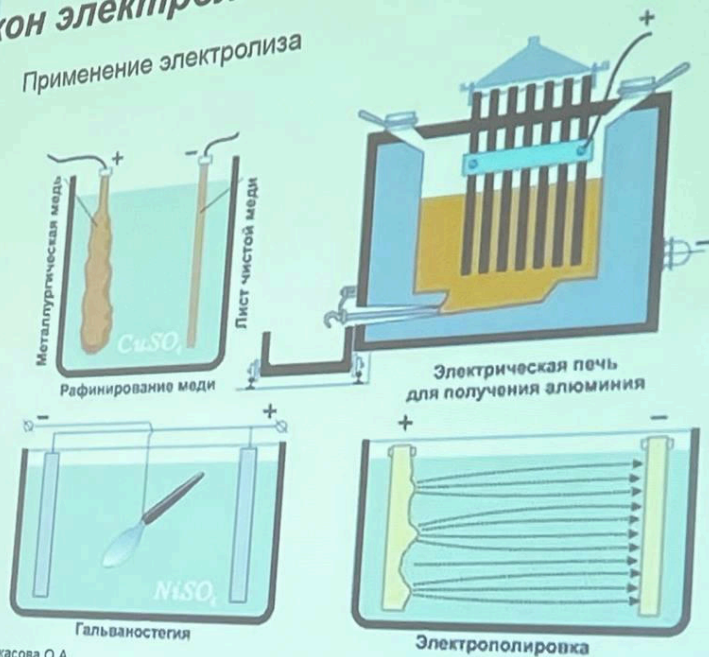
Прохождение электрического тока через газы называется газовым разрядом.

В проводимости газов одновременно участвуют положительные, отрицательные ионы и электроны.

Если не учитывать проводимость электронов, то по аналогии с электролитами можно записать закон Ома для газов: (бля, пропустил)

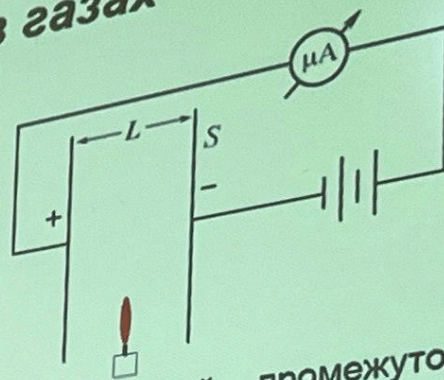
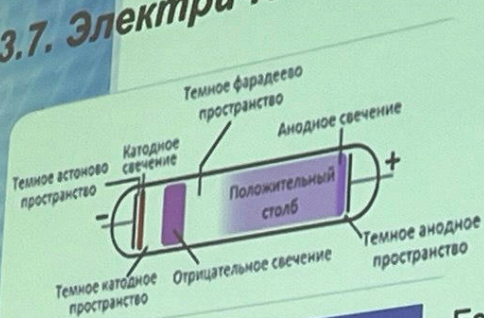
3.6. Закон электролиза Фарадея

Применение электролиза



Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

3.7. Электрический ток в газах



Если в газовой промежуток длиной L между двумя пластинами площадью S внести пламя свечи, то во внешней цепи будет протекать ток. Если пламя убрать – ток исчезает.

Тлеющий разряд

Ne

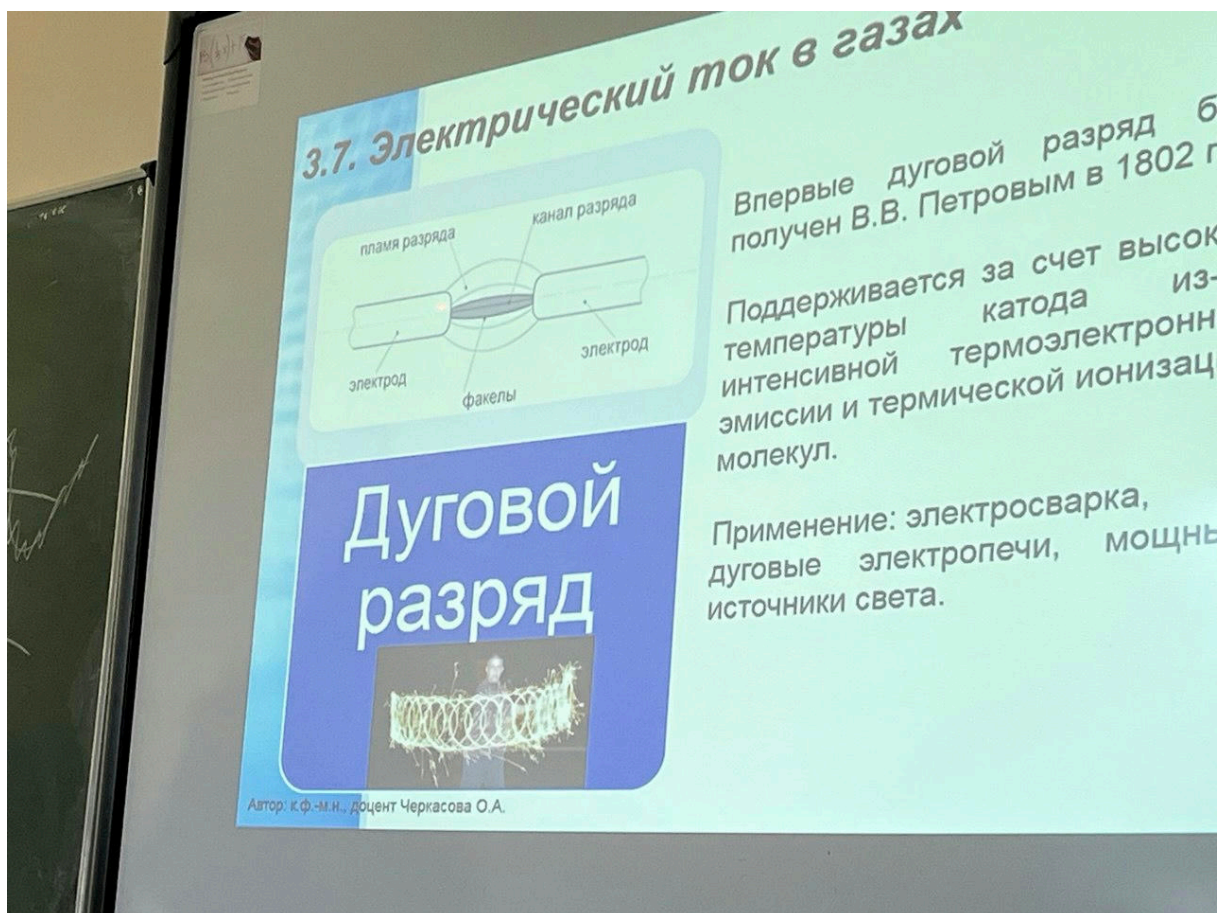
Наблюдается при низком давлении ($\sim 0,01$ мм.рт.ст.), является следствием ударной ионизации и вторичной электронной эмиссии

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Появление ярко светящегося канала искры предшествует возникновение слабосветящихся скопления ионизованного газа — стримеров.

Стримеры возникают в результате образования электронных лавин вследствие ударной или фотонной ионизации.

Лавины, следуя одна за другой образуют проводящие каналы из стримеров, следствием чего является образование канала искрового разряда. Примечание: свеча зажигания, искровые разрядники, электроискровая обработка металлов.

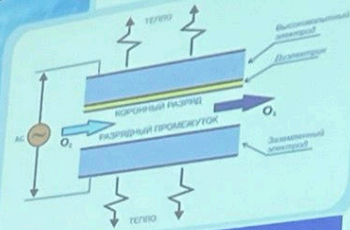


Впервые дуговой разряд был получен В. В. Петровым в 1802 году.

Поддерживается за счет высокой температуры катода из-за интенсивной термоэлектронной эмиссии и термической ионизации молекул.

Применение: электросварка, дуговые электропечи, мощные источники света.

3.7. Электрический ток в газах



Высоковольтный электрический разряд при высоком давлении (~ атмосферном) в сильно неоднородном электрическом поле.

Коронный разряд



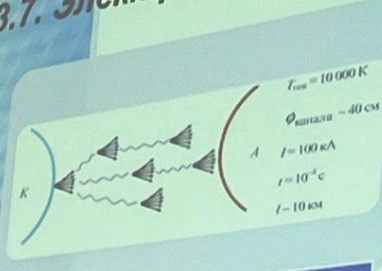
При напряженности электрического поля $E \sim 30 \text{ кВ/см}$ вблизи острия возникает свечение по форме напоминающее корону.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Высоковольтный электрический разряд при высоком давлении (близком к атмосферному) в сильно неоднородном электрическом поле.

При напряженности электрического поля $E \sim 30 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$ вблизи острия возникает свечение по форме, напоминающее корону.

3.7. Электрический ток в газах




$T_{\text{ion}} = 10\,000\text{ K}$
 $r_{\text{канала}} = 40\text{ см}$
 $I = 100\text{ кА}$
 $t = 10^{-4}\text{ с}$
 $l = 10\text{ км}$

Является следствием фотоэмиссии и возникновения стримеров.

Возникает при больших напряжениях электрического поля $\approx 3 \cdot 10^6\text{ В/м}$ в газе, находящемся под давлением порядка атмосферного.

Искровой разряд



Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Коронный разряд:

1. Коронирует катод — отрицательная корона: электроны выбиваются из катода при его бомбардировке положительными ионами. Электроны вызывают ударную ионизацию молекул газа.
2. Коронирует Анод — положительная корона: электроны рождаются вследствие фотоионизации газа вблизи анода.

Применение: молниеотводы, электрофильтры, нанесение красок в коронном разряде.

Вредное действие: радиопомехи, возникновение на проводах высоковольтных ЛЭП приводит к возникновению утечек тока.

Стримеры возникают в
лавинах вследствие
1) ударной ионизации,
2) фотонной ионизации газа.



Лавины, следуя одна за
проводящие каналы из стриминга
является образование
разряда.

Применение: свеча зажигания
разрядники, электроискро
металлов.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.