

**Сегодня:
воскресенье, 1
октября 2023 г.**

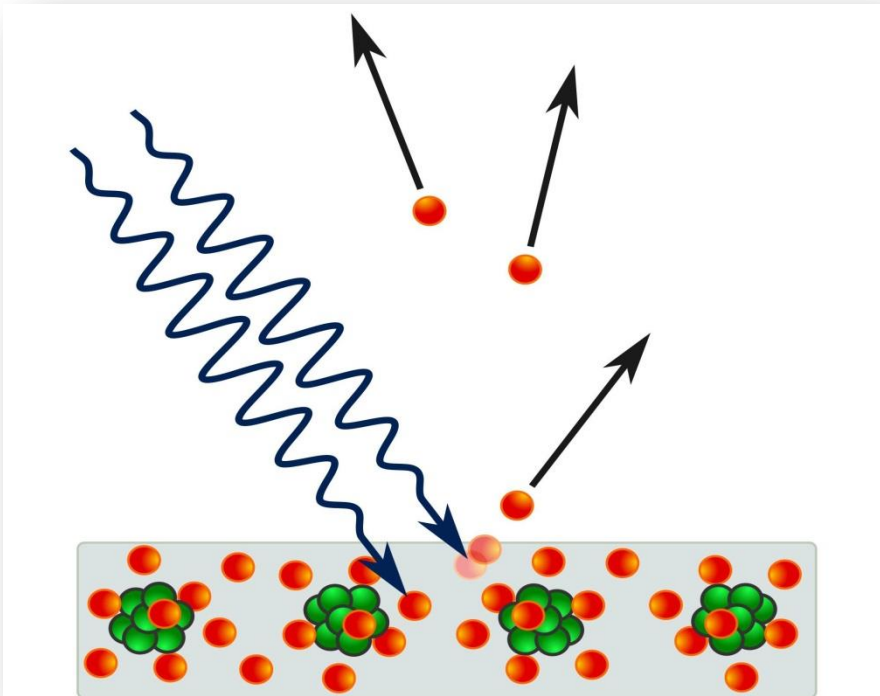
Лекция 8: Электрический ток в вакууме и газах, в жидкостях.

- 1. Электронная эмиссия**
- 2. Газовые разряды**
- 3. Электролиты. Электролиз.**

Электронная эмиссия

В вакууме без создания специальных условий ток протекать не может из-за отсутствия свободных носителей заряда.

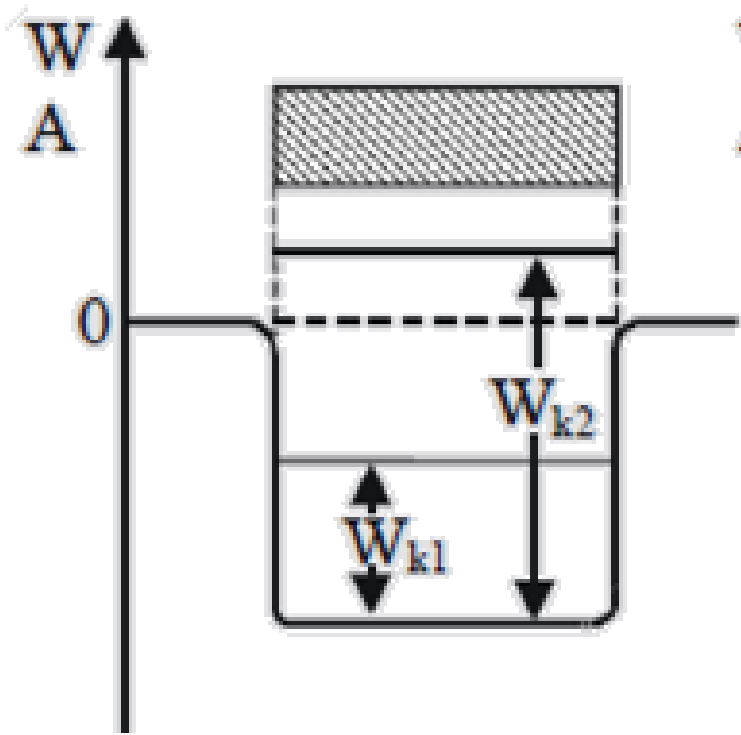
Электронная эмиссия - внесение носителей тока в вакуум за счет выхода из металлов



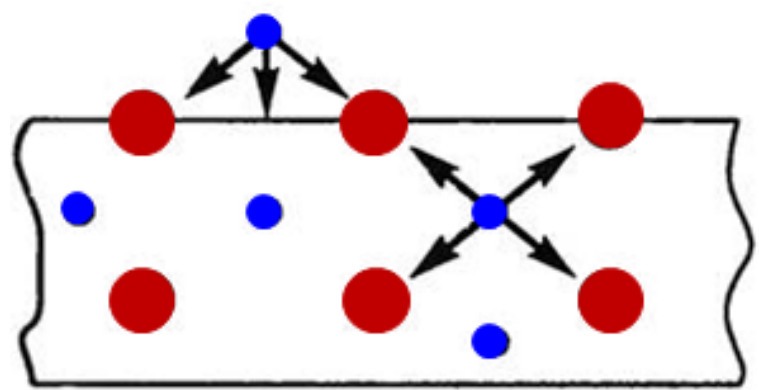
Потенциальная энергия свободного электрона внутри металла:

$$W = -e\varphi$$

Так как $\varphi > 0$, то $W < 0$, т.е. потенциальная энергия электрона в металле относительно вакуума отрицательна.

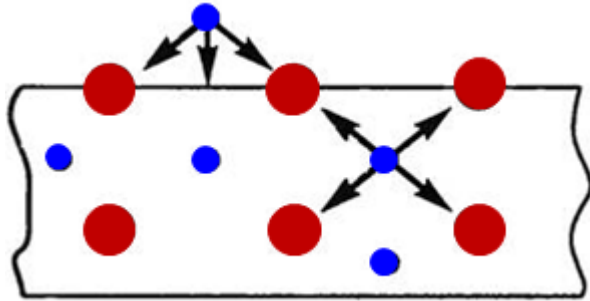


Свободные электроны металла можно приближенно считать заключенными в "потенциальную яму с плоским дном"



Работа выхода $A_{\text{вых}}$ – работа, которую необходимо совершить электрону, чтобы покинуть металл

Если при тепловом движении электрон вылетит из металла, то на поверхности он индуцирует заряд противоположного знака.



$$A = e\varphi$$

$$\frac{mv^2}{2} \geq e\varphi$$

Возникает **сила зеркального изображения** = сила притяжения между электроном и поверхностью
Эта сила стремится вернуть электрон обратно в металл, для ее преодоления нужна работа выхода

Условие, при котором электрон может покинуть металл

Для различных металлов работа выхода колеблется в пределах от 1 до 5 эВ.

Физическая природа работы выхода

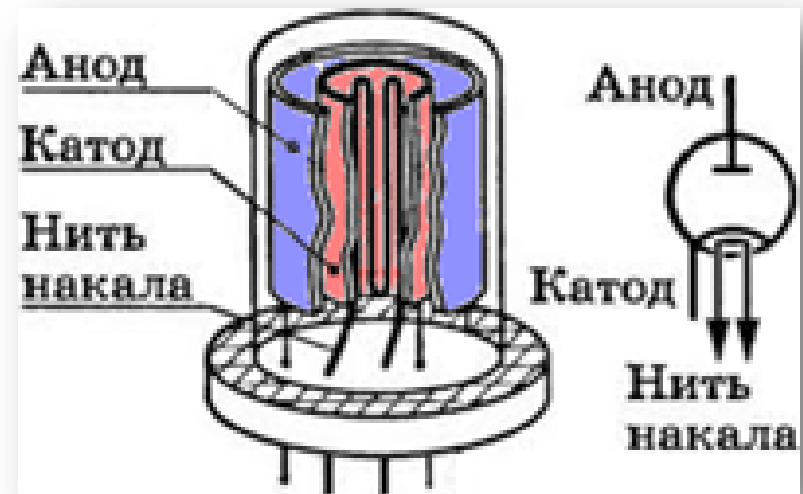
- ✓ при удалении одного из электронов из металла оставшиеся в нем электроны окажутся в иных условиях, чем до удаления. Это вызовет изменение их состояний и изменение энергий, которое произойдет за счет части работы выхода.
- ✓ Испущенные электроны образуют вблизи поверхности металла отрицательно заряженный электрический слой, который вместе с избыточным положительным зарядом ионов под поверхностью металла образует двойной электрический слой, поле которого тормозит проходящие через него электроны. На преодоление этого поля также расходуется часть работы выхода;
- ✓ электрон, вышедший в вакуум, индуцирует на поверхности металла положительный заряд, работа по преодолению притяжения которого также – составляющая работы выхода.

ВИДЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

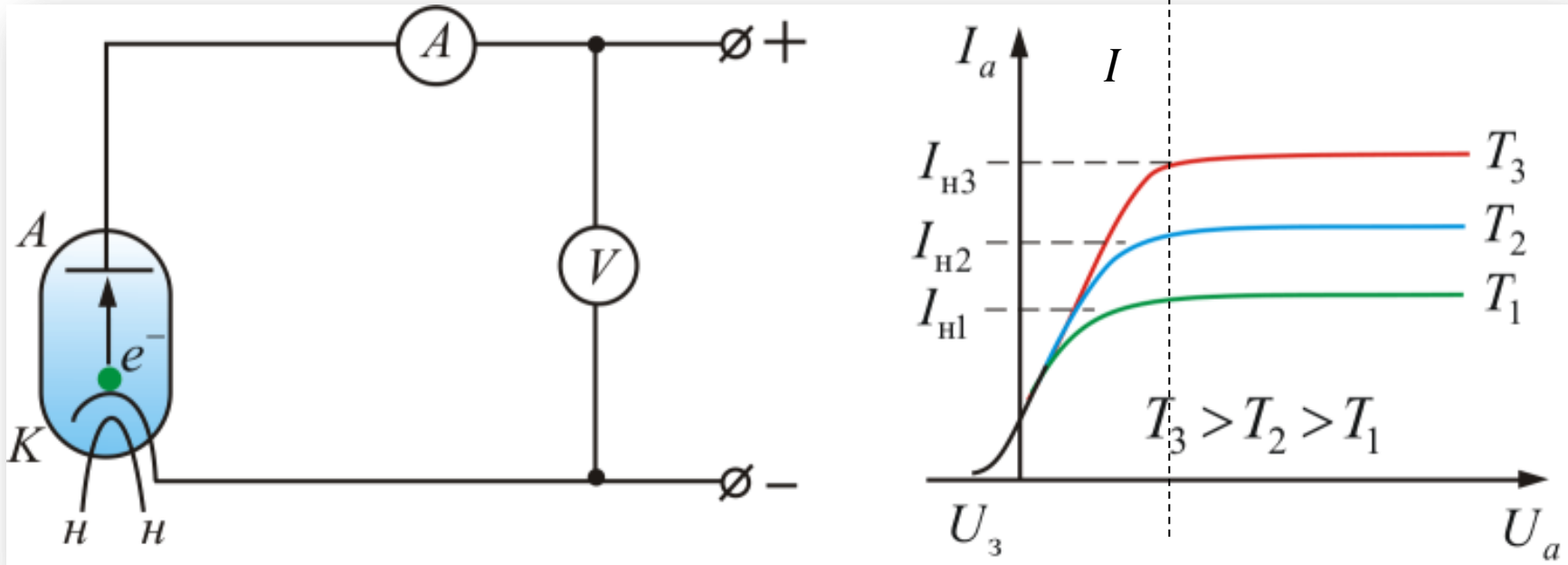
- 1. термоэлектронная эмиссия** (за счет тепловой энергии нагретых тел);
- 2. ионно-электронная эмиссия** (за счет энергии бомбардирующих поверхность металла ионов);
- 3. фотоэлектронная эмиссия** (за счет энергии падающего на поверхность металла электромагнитного излучения);
- 4. автоэлектронная (холодная) эмиссия** (за счет энергии сильного ЭП вблизи поверхности металла).

Практическое применение электронной эмиссии

- вакуумный диод
- вакуумные лампы
- газоразрядные лампы



ВАХ

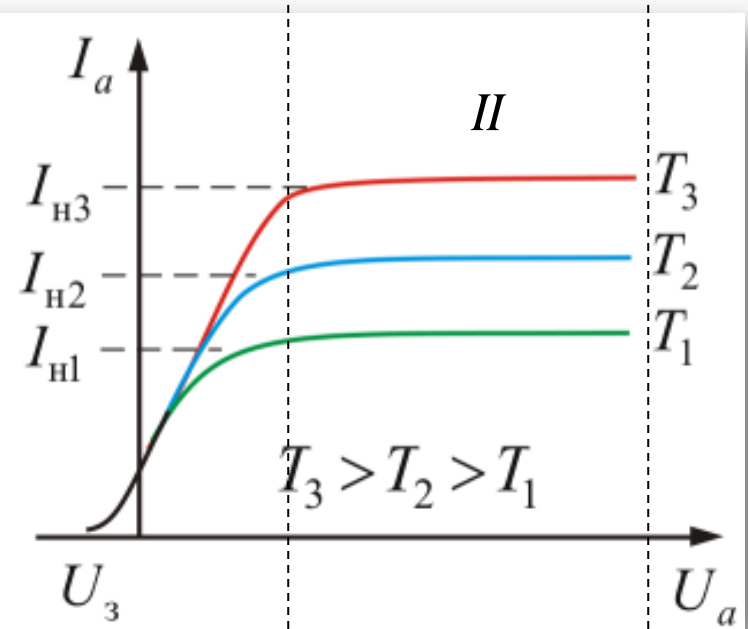
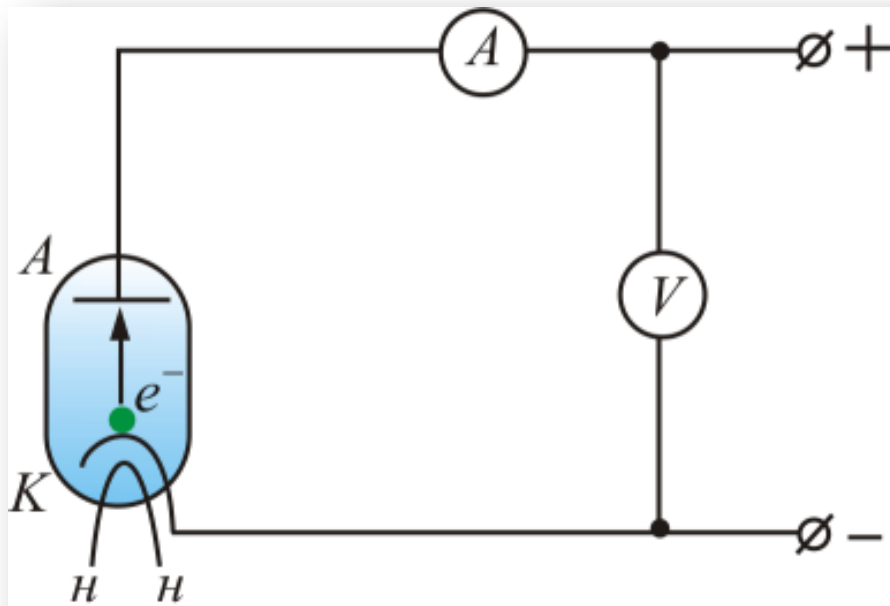


I. Область слабых токов.
Закон Богуславского-
Ленгмюра = «закон $3/2$ »

$$I = kU_a^{3/2}$$

Ток в этой области не зависит от материала, но зависит от геометрии электродов. Закон основывается на том, что первоначально испускаемые электроны имеют скорость $v \rightarrow 0$, поэтому в пространстве между К и А возникает отрицательно заряженное электронное облако, препятствующее проходу электронов от К к А.

ВАХ



II. Область средних токов.

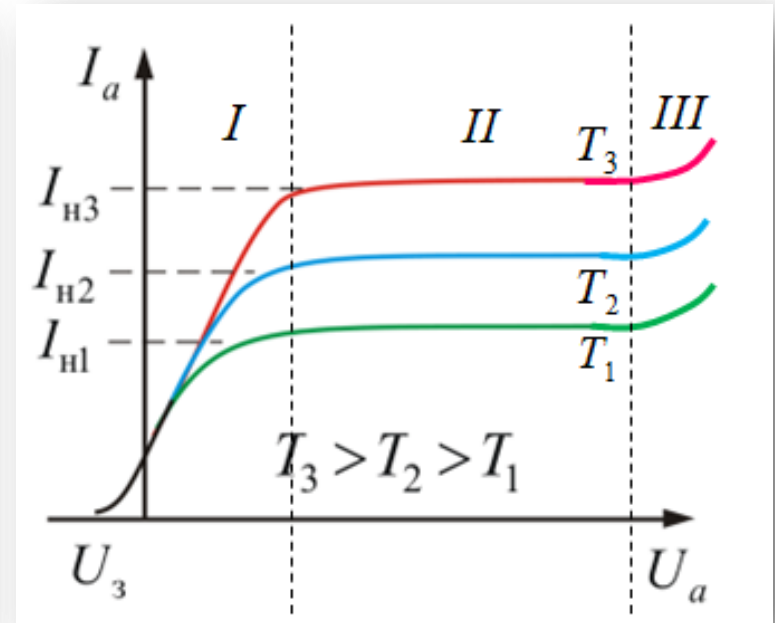
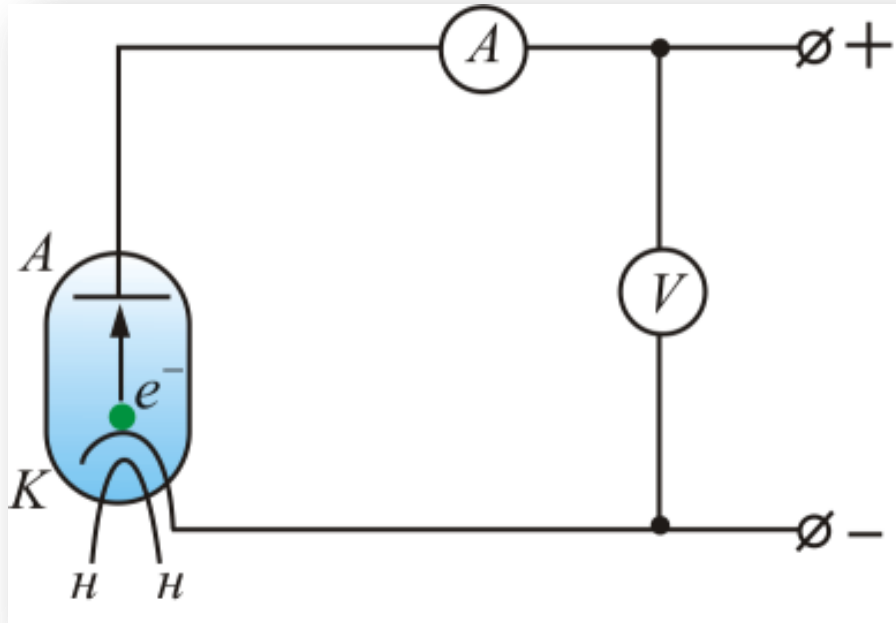
**Закон Ричардсона–
Дешмана**

$$A = \frac{em_e k^2}{2\pi^2 h^3}$$

$$j_{нас}(T) = AT^2 \exp\left(-\frac{A_{вых}}{kT}\right)$$

$A = 1,2 \cdot 10^6 \text{ А}/(\text{м}^2\text{К}^2)$ –
постоянная Ричардсона

ВАХ



II. Область сильных полей 10^7-10^8 В/м

Экспоненциальное нарастание анодного тока с ростом U_a из-за включения автоэлектронной эмиссии. Одним из механизмов является термополевая эмиссия В. Шоттки: электроны покидают металл, преодолевая потенциальный барьер за счет внешнего ЭП.

ГАЗОВЫЕ РАЗРЯДЫ

Свободные носители в газе образуются в результате **ионизации** - вырывания электронов из электронной оболочки атомов газа.

Проводниками электричества могут быть только ионизованные газы.

- ✓нагревание,
- ✓бомбардировка частицами,
- ✓электромагнитное облучение
(ультрафиолетовое, R-ое, радиоактивное).

Газ, находящийся между электродами, может проводить электрический ток - **газовый разряд**.

**Электрический
разряд**

Несамостоятельный

Самостоятельный

**При нормальном
давлении**

**При пониженном
давлении**

Искровой

коронный

дуговой

Тлеющий

Газовый разряд

Прохождение электрического тока через газы

(характер разряда зависит от хим. природы газа и электродов, T и p газов, формы, размеров и взаимного расположения электродов, j и P тока).

Несамостоятельный

внешние воздействия, не связанные с электрическим полем
(нагревание газа – термическая ионизация, воздействие ультрафиолетовых, R - лучей, Излучение радиоактивных веществ)

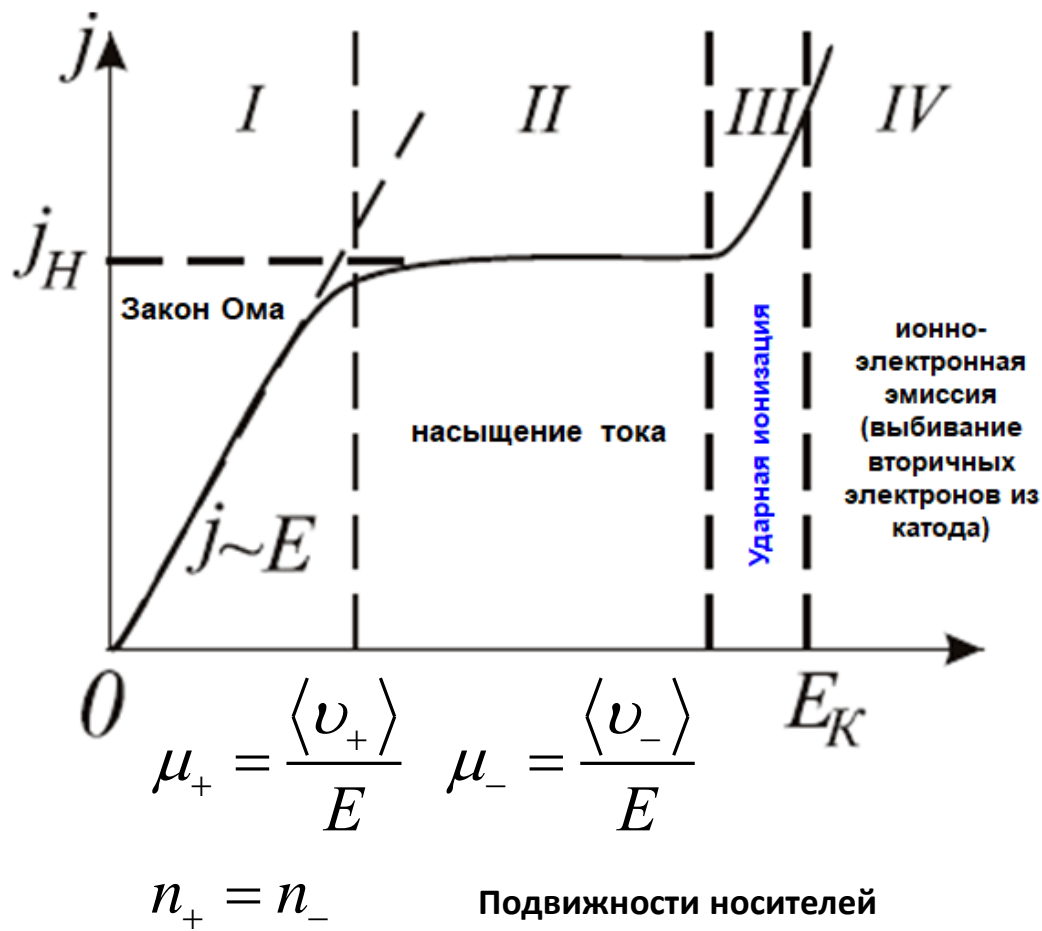
Самостоятельный

Процессы, обусловленные созданным в газе электрическим полем

Условия возникновения самостоятельного разряда

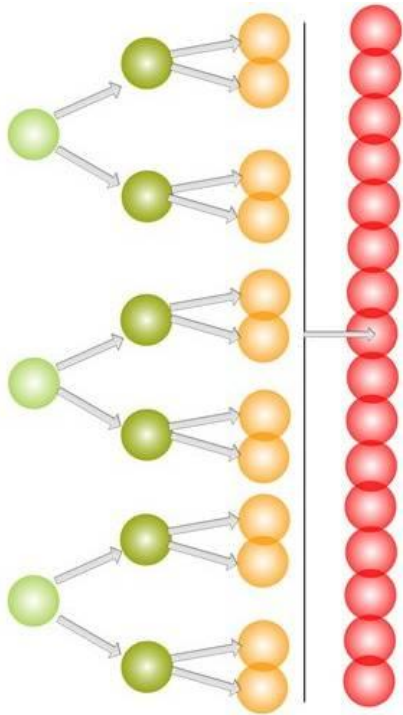
Ударная ионизация

Под действием внешнего ионизатора электроны, ускоренные ЭП, сталкиваясь с нейтральными молекулами газа, ионизируют их - образуются вторичные электроны и положительные ионы. Положительные ионы движутся к катоду, а электроны – к аноду. Вторичные электроны вновь ионизируют молекулы газа, и, общее количество электронов и ионов нарастает по мере продвижения электронов к аноду лавинообразно.



$$j(I) = j_+ + j_- = nq \langle v \rangle = nq (\mu_+ + \mu_-) E$$

В результате этих процессов образуются потоки электронов, ионов и фотонов, количество частиц нарастает лавинообразно, идет резкий рост тока практически без усиления ЭП между электродами. Возникает самостоятельный газовый разряд



Переход от несамостоятельного газового разряда к самостоятельному называется **электрическим пробоем**, а величина напряжения между электродами $U = E_K d$, где d – расстояние между электродами, называется **напряжением пробоя**.

Электрический пробой диэлектриков

Резкое уменьшение электрического сопротивления диэлектрика при достижении определенной величины напряженности приложенного ЭП – электрической прочности ($E \sim 10^5 - 10^6$ В/м).

В случае пробоя образуется проводящий канал, в котором возникает большая плотность тока. Выделяющееся в канале джоулево тепло разрушает материал: сквозные отверстия, проплавление каналов, образование трещин, массовое образование дефектов, раскалывание образца.



корона на проводах высоковольтной линии

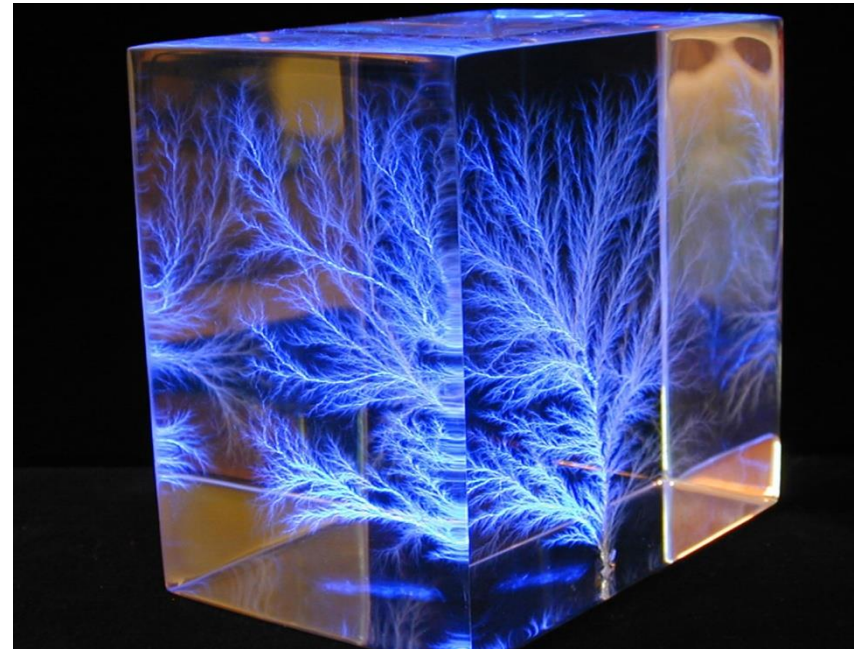
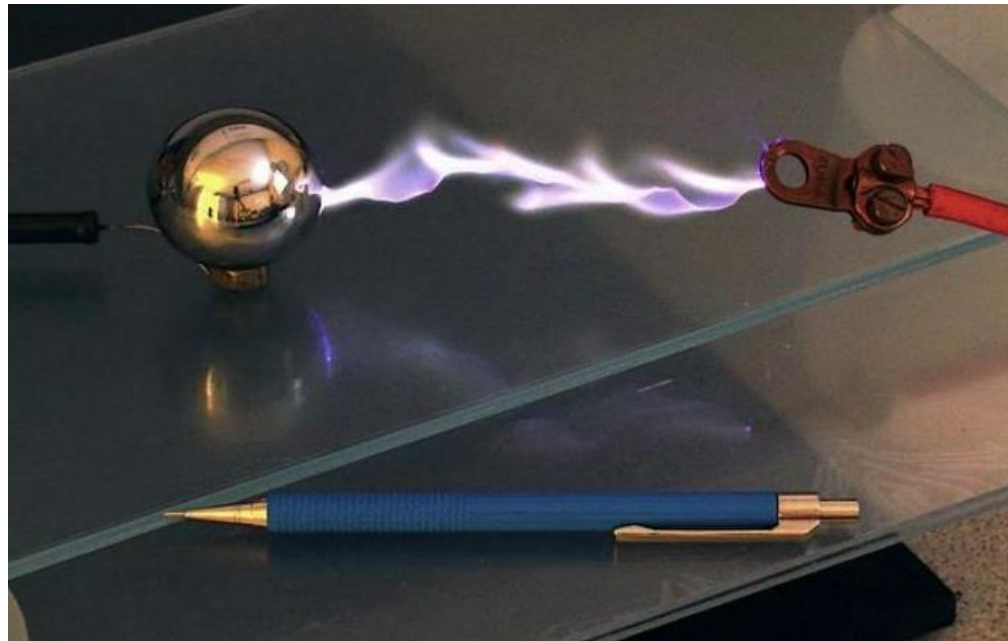


Пробой диэлектрика

Это лавинообразный процесс, обусловленный тем, что носители заряда на длине свободного пробега приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа или кристаллической решетки. В результате создаются новые свободные носители.

Присутствующие неоднородности способствуют пробой. В области нахождения неоднородностей локальное поле может заметно изменяться

Пробой в газах связан с механизмом ударной ионизации

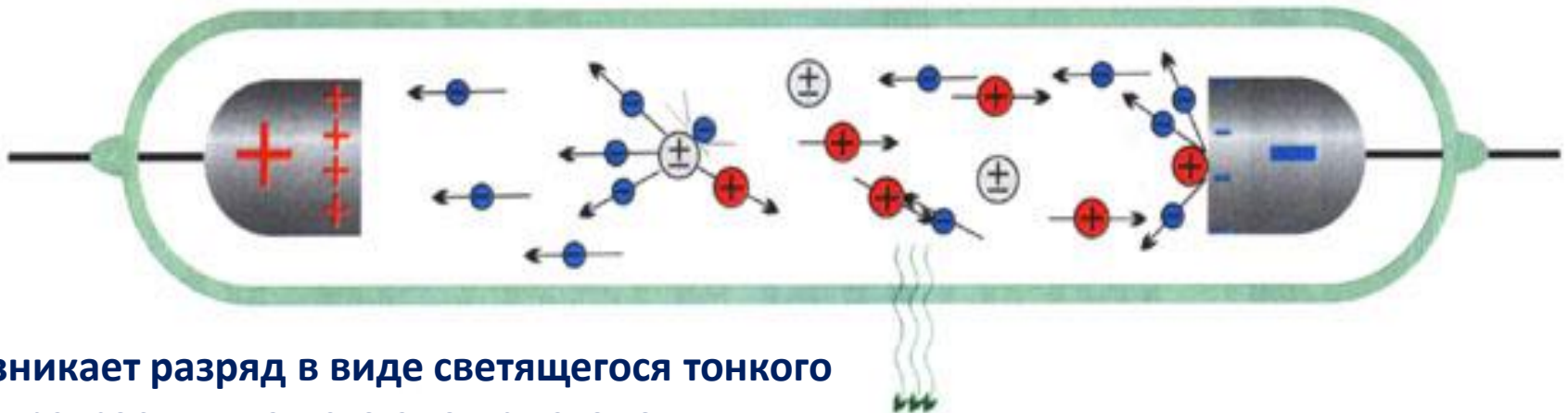


Тлеющий разряд

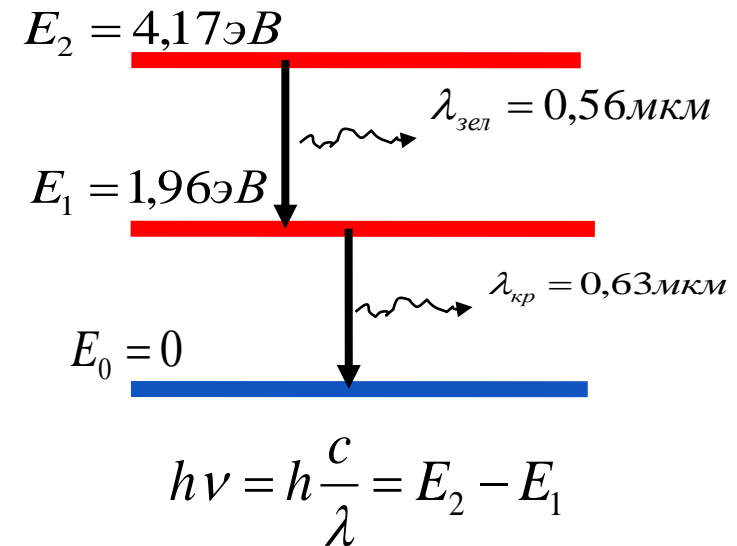
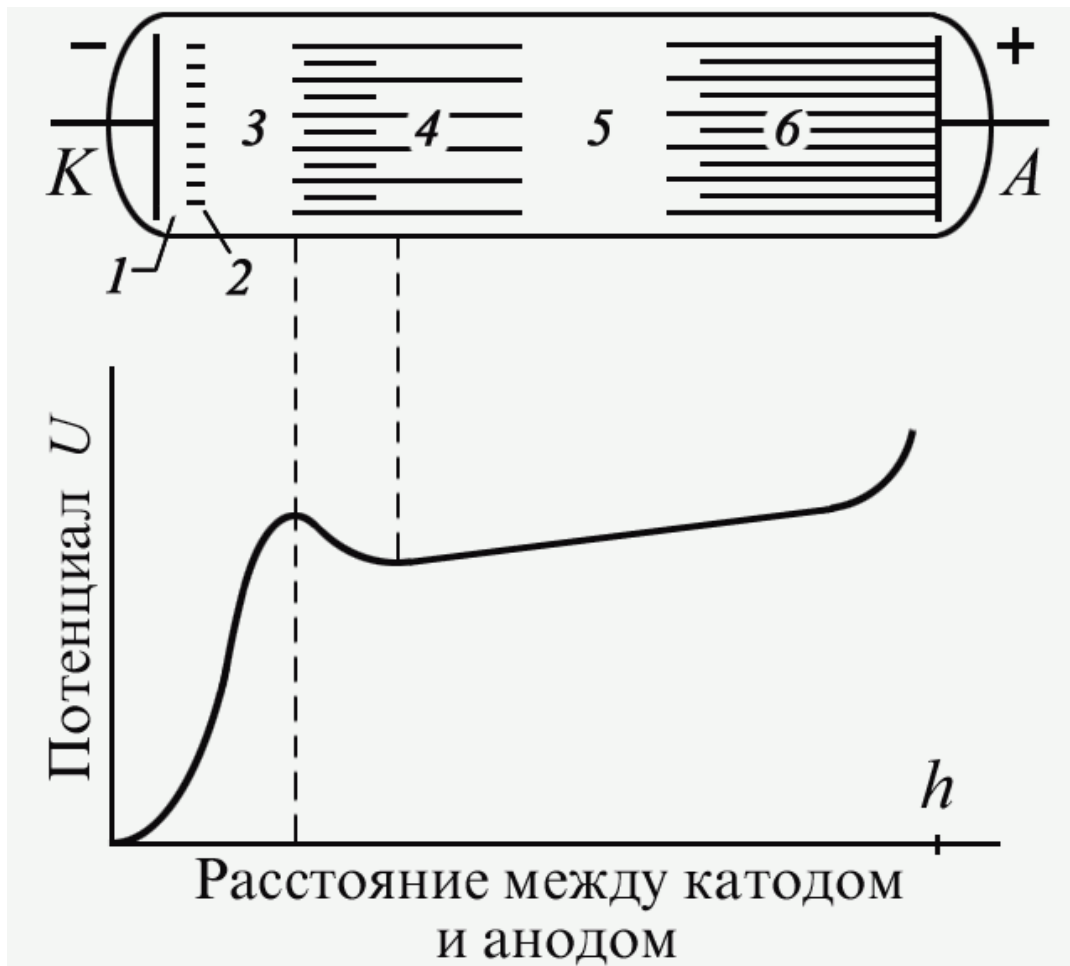
катод испускает электроны при бомбардировке его образующимися в газе положительными ионами и фотонами

Условия возникновения и характеристики

- а) низкая температура катода и низкое давление;
- б) малая плотность тока на катоде ($< 1 \text{ A/cm}^2$);
- в) большое падение потенциала вблизи катода;
- г) неоднородное электрическое поле



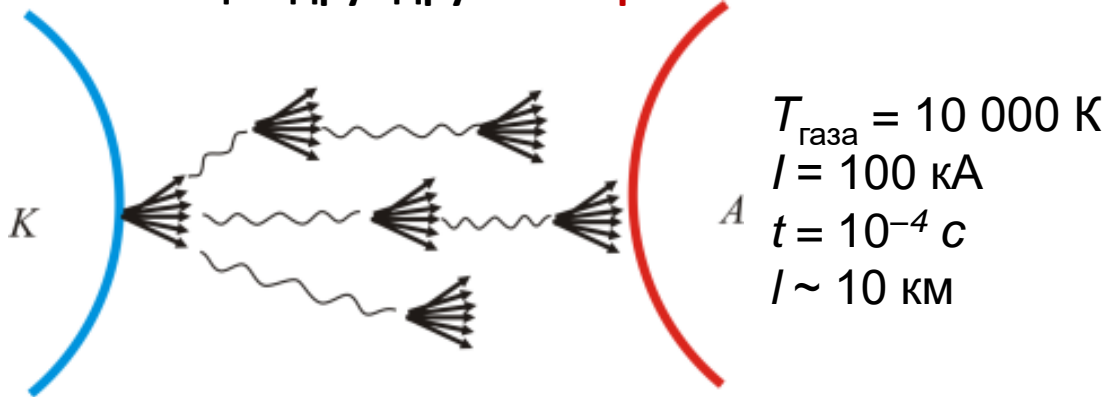
возникает разряд в виде светящегося тонкого шнура, соединяющего анод с катодом



1 – темное пространство; 2 – свечение (катодный слой); 3 – катодное темное пространство; 4 – катодное тлеющее свечение (отрицательное свечение); 5 – фарадеево темное пространство; 6 – положительный светящийся столб.

Искровой разряд

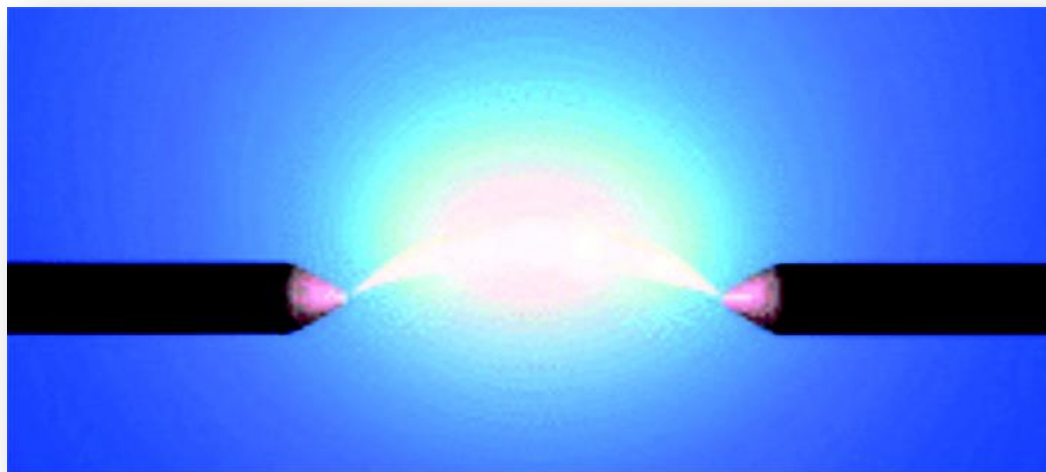
По внешнему виду представляет собой пучок ярких зигзагообразных разветвляющихся тонких полос, мгновенно пронизывающих разрядный промежуток, быстро гаснущих и постоянно сменяющих друг друга - **искровые каналы**



После того, как разрядный промежуток «пробит» искровым каналом, сопротивление его падает, через канал проходит кратковременный импульс тока. Если мощность источника не велика, то после этого разряд прекращается. Напряжение между электродами начинает повышаться до прежнего значения, и пробой повторяется с образованием нового искрового канала.

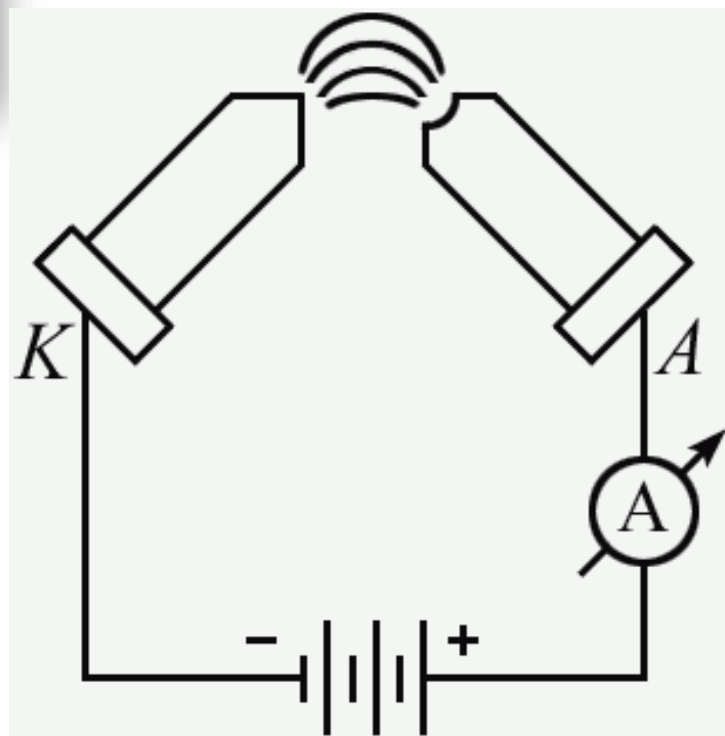


Дуговой разряд (вольтова дуга)



Если уменьшить сопротивление внешней цепи и увеличить силу тока дугового разряда, то вследствие ударной ионизации проводимость газового промежутка столь сильно возрастет, что напряжение между электродами уменьшается. Поэтому говорят, что дуговой разряд имеет падающую вольт-амперную характеристику

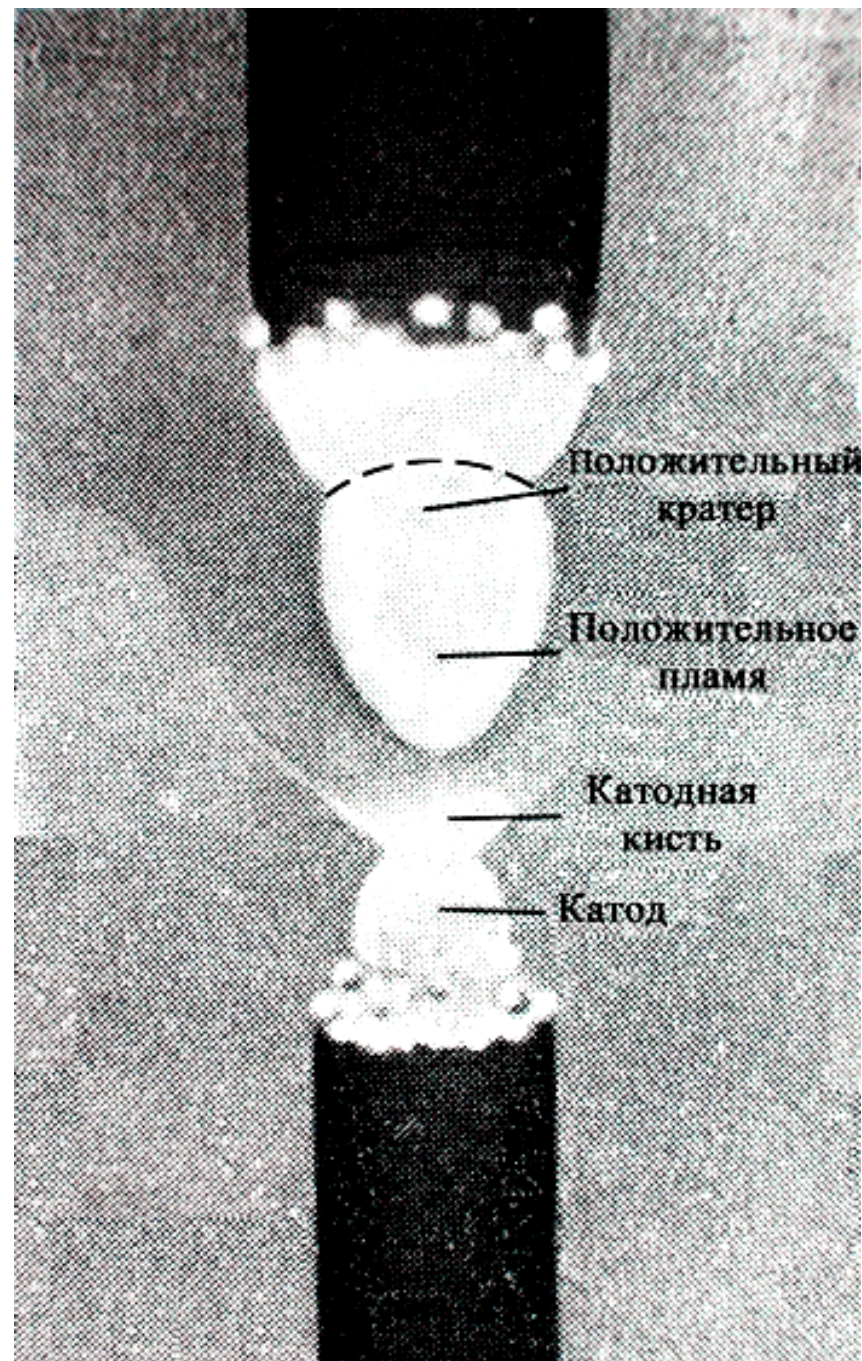
происходит при большой плотности тока и сравнительно небольшом напряжении между электродами (порядка нескольких десятков вольт)



Во время горения
расстояние между
электродами
~ 5 мм при
токе 10÷20 А и
напряжении между
ними 40÷50 В.

При горении дуги угольный
катод заостряется, а на аноде
образуется углубление –
кратер. Кратер разогревается
до температуры 4000 °С ÷ 7000
°С - кипения или возгонки
материала катода (~ 3900 К).

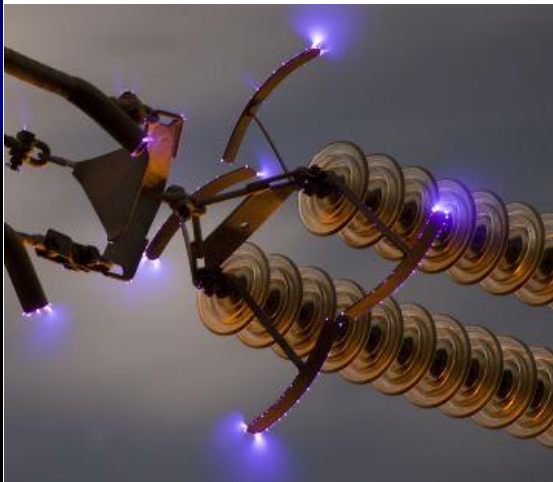
разряд используется в многочисленных
осветителях (прожекторах и проекционных
аппаратах). Дуговые печи служат для
выплавки стали, чугуна, бронзы,
получения карбида кальция, окиси азота



Коронный разряд

возникает при давлениях порядка атмосферного в сильно неоднородных ЭП. Например, если один из электродов имеет вид острия, а второй – плоскости. Когда ЭП вблизи острия достигает $3 \cdot 10^4$ В/м, в его окрестности возникает свечение, имеющее вид короны.

Если корона образуется вблизи отрицательного электрода, она называется отрицательной, вблизи положительного – положительной.



Искровой разряд

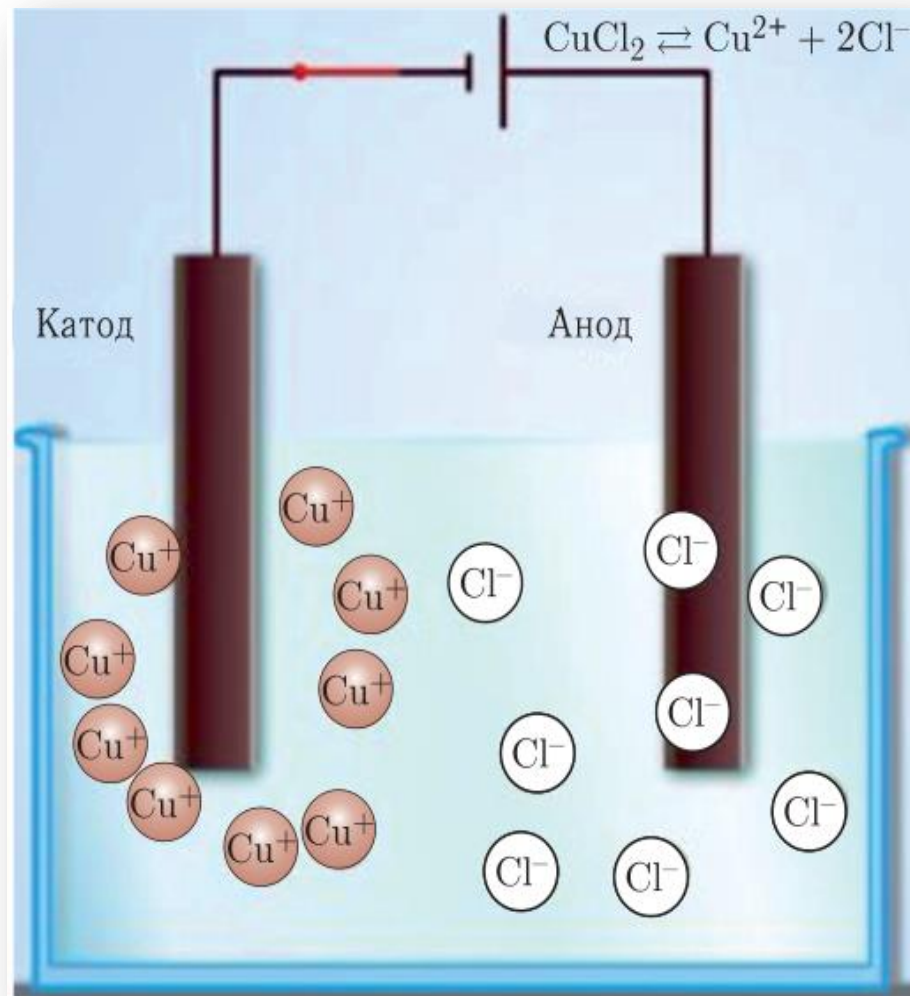
как и коронный возникает при давлении порядка атмосферного, но наблюдается, если оба электрода имеют малую кривизну, т.е. электрическое поле между ними практически однородно.



Электрический ток в жидкостях

Электролиты – это жидкие или твердые вещества и системы, в которых присутствуют ионы, обуславливающие прохождение электрического тока (ионную проводимость).

Молекулы электролита и растворителя являются дипольными. Поэтому в растворе каждую молекулу электролита окружает группа молекул растворителя

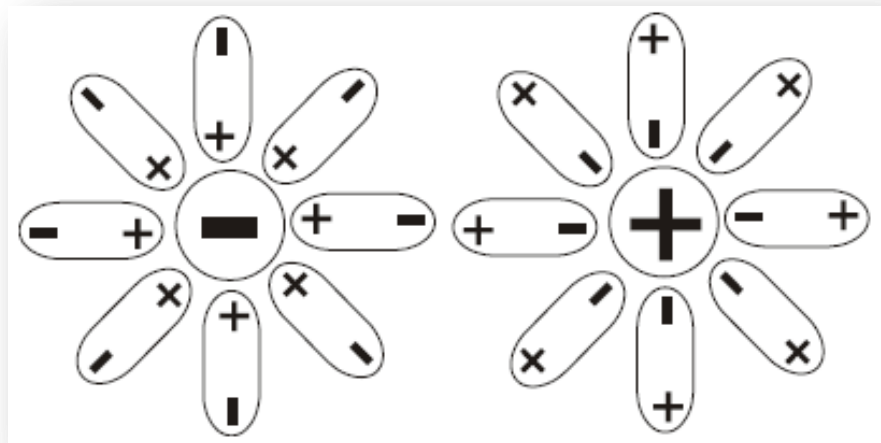


Молекулы растворителя стремятся разорвать молекулу электролита на две части. В результате большинство молекул электролита распадается на положительные ионы (катионы) и отрицательные ионы (анионы).

Процесс распада веществ в растворе под влиянием электрического поля на отдельные положительно и отрицательно заряженные ионы называется **электролитической диссоциацией**.

Обратный процесс – **рекомбинация** ионов в нейтральные молекулы

Совокупность электрохимических процессов на электродах, погруженных в электролит, при прохождении по нему электрического тока = **электролиз**



Законы электролиза

Первый закон Фарадея: масса m выделившегося на аноде вещества пропорциональна времени t прохождения через электролит тока и силе тока k – электрохимический эквивалент вещества

$$m = kIt$$

Второй закон Фарадея: электрохимический эквивалент вещества пропорционален атомной массе A и обратно пропорционален валентности этого вещества Z :

$$k = \frac{1}{F} A = \frac{1}{F} \frac{\mu}{n}$$

$F = e \cdot N_A = 96\,500$ Кл/моль -
постоянная Фарадея

μ – молярная масса;
 n – заряд иона (в e)

Закон Ома для электролитов

$$j = enZ (\mu_+ + \mu_-) E = \gamma E$$

$$\gamma = enZ (\mu_+ + \mu_-)$$

удельная проводимость

Удельное сопротивление

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{enZ (\mu_+ + \mu_-)}$$

Так как с повышением T подвижность и концентрация ионов возрастают, то сопротивление электролитов уменьшается.

Применение электролиза в технике

1. получают некоторые металлы
2. металлы, очищают от примесей.
3. получают кислород, водород, хлор, "тяжелую воду".
4. различные изделия покрывают слоем металла, изготавливают рельефные металлические копии.
5. зарядка аккумуляторов.