

## 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ И ГАЗАХ

### 8.1. Электрический ток в электролитах.

### 8.2. Явление ионизации и рекомбинации в газах

### 8.3. Несамостоятельный газовый разряд

### 8.4. Самостоятельный газовый разряд

### 8.5. Типы разрядов

### 8.6. Применение газового разряда

### 8.7. Понятие о плазме

## 8.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

**Электролиты** – водные растворы солей, кислот, щелочей. Они являются проводниками второго рода.

Расщепление нейтральной молекулы на положительные и отрицательные ионы в результате взаимодействия растворенного вещества с растворителем называется **электролитической диссоциацией**.

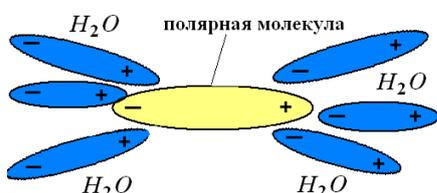
Пример:  $NaCl \leftrightarrow Na^+ + Cl^-$ .

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

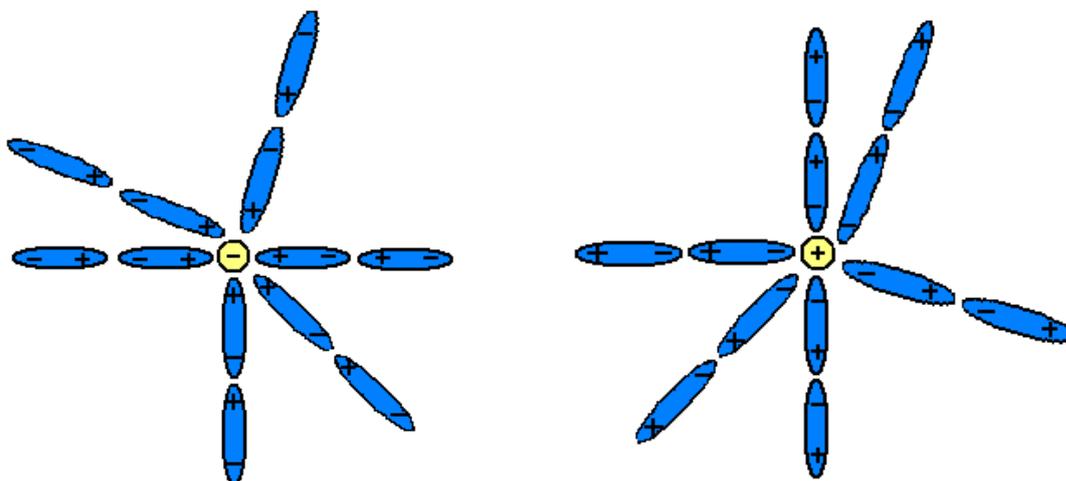
**Причины электролитической диссоциации:**

- тепловое движение полярных молекул растворенного вещества,

- взаимодействие этих молекул с полярными молекулами растворителя (поле молекул  $H_2O$ , окружающих полярную молекулу, ослабляет связь между ионами этой молекулы).



После разрыва молекулы на ионы диполи растворителя обволакивают их, образуя **сольватную оболочку**, сильно затрудняющую движение ионов.



Во внешнем электрическом поле происходит упорядоченное движение ионов, т.е. возникает электрический ток. Электрическое поле создается электродами: положительным анодом и отрицательным катодом.

Положительные ионы – **катионы** (ионы металлов и ионы водорода) движутся к катоду. Отрицательные ионы – **анионы** (ионы кислотных остатков и гидроксильной группы) движутся к аноду.

Электрический ток в электролитах сопровождается явлением **электролиза** – выделением на электродах составных частей растворенных веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электродах. Для явления электролиза справедливы два закона Фарадея.

**Первый закон Фарадея:** масса  $M$  вещества, выделившегося на электродах, прямо пропорциональна электрическому заряду  $Q$ , прошедшему через электролит.

$$M = kQ = kIt,$$

где  $k$  – электрохимический эквивалент.

**Второй закон Фарадея:** электрохимический эквивалент вещества  $k$  пропорционален отношению молярной массы  $A$  ионов этого вещества к их валентности  $z$ .

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z},$$

где  $F = 96486,7$  Кл / моль – число Фарадея.

## 8.2. Закон Ома для электролитов

Плотность тока:

$$j = qnv;$$

$$j = q_+n_+v_+ + q_-n_-v_-, \quad (1)$$

где  $q_+, q_-$  – заряд положительного и отрицательного иона, соответственно,  $n_+, n_-$  – концентрация положительных и отрицательных ионов, соответственно.

$$q_+ = z_+e;$$

$$q_- = z_-e,$$

где  $z_+, z_-$  – валентность положительных и отрицательных ионов, соответственно.

Для упрощения расчетов, учитывая, что в электролите происходит диссоциация нейтральной молекулы, примем:  $z_+ = z_- = z; n_+ = n_- = n$ .

$$j = zne(v_+ + v_-). \quad (2)$$

Ускорение ионов в электрическом поле происходит до тех пор, пока электрическая сила не станет равной силе трения.

$$\underbrace{z_+e}_q E - F_{mp} = 0.$$

Закон Стокса:  $F_{mp} = 6\pi\eta \cdot r_+v_+,$

где  $\eta$  – коэффициент вязкости среды,

$r_+$  – радиус положительного иона (сальватной оболочки).

$$z_+ e E = 6\pi\eta \cdot r_+ v_+ \quad \Rightarrow \quad v_+ = \frac{z_+ e E}{6\pi\eta r_+} = \frac{z_+ e}{6\pi\eta r_+} E.$$

Введем  $\frac{z_+ e}{6\pi\eta r_+} = u_+$  – подвижность положительных ионов, численно равная скорости положительных ионов при  $E = 1$  В/м.  $\rightarrow v_+ = u_+ E$ .

$$\frac{z_- e}{6\pi\eta r_-} = u_- \text{ – подвижность отрицательных ионов. } v_- = u_- E.$$

Из уравнения (2) следует, что, поскольку  $z_+ e = z_- e = ze$ ,  $n_+ = n_-$

$$j = zne(u_+ + u_-)E \quad \text{– закон Ома для электролитов}$$

в дифференциальной форме.

$$j = \sigma E.$$

$\sigma = zne(u_+ + u_-)$  – удельная проводимость электролита.

При увеличении температуры подвижность ионов растет. Следовательно, сопротивление электролитов уменьшается (отличие от металлов, у которых с ростом температуры сопротивление увеличивается).

## 8.2. ТОК В ГАЗАХ

### 8.2.1. Явление ионизации и рекомбинации в газах

В нормальном состоянии газы состоят из электрически нейтральных молекул и атомов, и, следовательно, не могут проводить электрический ток. Поэтому газы являются хорошими электрическими изоляторами. Напомню, что окружающий нас воздух является хорошим и самым дешёвым диэлектриком, и его изолирующие свойства широко используются в различных устройствах высокого напряжения (ЛЭП, подстанциях, электростатических генераторах и др.).

Проделаем опыт: разорвём цепь источника тока, т.е. создадим в ней воздушный промежуток. Если включить в такую разорванную цепь гальванометр, то он покажет отсутствие электрического тока.

Поднесём к воздушному промежутку пламя газовой горелки. В пламени происходят интенсивные химические процессы, за счёт энергии которых отдельные атомы могут возбуждаться и ионизироваться. Образующиеся в пламени горелки ионы и электроны переходят в возбужденный промежуток, и под действием приложенной к нему разности потенциалов начинают двигаться к электродам; в цепи появляется ток.

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

Таким образом, в результате происходит освобождение электронов из атомов и молекул, которые могут присоединиться к нейтральным молекулам или атомам, превращая их в отрицательные ионы. Ионы и свободные электроны делают газ проводником электричества.

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

Установлено, что в нормальных условиях газы, например воздух, обладают электрической проводимостью, но очень ничтожной. Эта проводимость вызвана излучением радиоактивных веществ, имеющих на поверхности земли, а также космическими лучами, приходящими из мировых глубин. Однако равновесная концентрация ионов в воздухе не превышает нескольких десятков пар ионов в кубическом сантиметре. Для того, чтобы воздух стал заметно проводить электрический ток, его надо подвергнуть воздействию интенсивных ионизаторов.

Итак, при ионизации газовых молекул под действием внешнего источника из молекулы обычно вырывается один электрон, и остаётся положительный молекулярный ион с зарядом  $e^+$ , т.е. образуется пара – положительный ион и электрон. Вырвавшийся электрон обычно присоединяется к какой-либо другой молекуле и образует отрицательный молекулярный ион с зарядом  $e^-$ , опять образуется пара – положительный и отрицательный ионы. Оба типа ионов одновалентны ( $z = 1$ ), имеют одинаковую концентрацию  $n$ , но несколько различные подвижности  $\mu_+$  и  $\mu_-$ . Под действием внешнего электрического поля эти ионы начинают двигаться, и возникает *электрический ток*.

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

Наряду с термином «*ионизация*» часто употребляют термин «*генерация*», характеризующий тот же самый процесс образования носителей зарядов в газе.

Одновременно с процессом ионизации идёт обратный процесс *рекомбинации* (иначе – *молизации*).

*Рекомбинация* – это нейтрализация при встрече разноименных ионов или воссоединение иона и электрона в нейтральную молекулу (атом).

*Факторы, под действием которых возникает ионизация в газе, называются внешними ионизаторами, а возникающая при этом проводимость называется самостоятельной проводимостью.*

При данной мощности внешнего ионизатора в объёме газа устанавливается *равновесное состояние*, при котором число пар ионов, возникающих под действием ионизатора за одну секунду в единице объёма, равно числу пар рекомбинировавших ионов. При этом *скорость ионизации равна скорости рекомбинации*:

$$v^{\text{ген}} = v^{\text{рек}}. \quad (3)$$

Таким образом, ионизованный газ способен проводить ток. Явление прохождения электрического тока через газ называется *газовым разрядом*. Газовые разряды можно разделить на два вида: *несамостоятельный и самостоятельный*.

### 8.3. Несамостоятельный газовый разряд

*Несамостоятельным газовым разрядом называется такой разряд, который, возникнув при наличии электрического поля, может существовать только под действием внешнего ионизатора.*

Рассмотрим физические процессы, имеющие место при самостоятельном газовом разряде. Введем ряд обозначений: обозначим через  $N_0$  число молекул газа в исследуемом объеме  $V$ . Концентрация молекул  $n_0 = N_0/V$ . Часть молекул ионизирована. Обозначим число ионов одного знака через  $N$ ; их концентрация  $n = N/V$ . Далее, обозначим через  $\Delta n_i$  – число пар ионов, возникающих под действием ионизатора за одну секунду в единице объема газа.

Наряду с процессом ионизации в газе происходит рекомбинация ионов. Вероятность встречи двух ионов разных знаков пропорциональна как числу положительных, так и числу отрицательных ионов, а эти числа, в свою очередь, равны  $n$ . Следовательно, число пар ионов, рекомбинирующих за секунду в единице объема, пропорционально  $n^2$ :

$$\Delta n_r = rn^2, \quad (4)$$

где  $r$  – коэффициент рекомбинации.

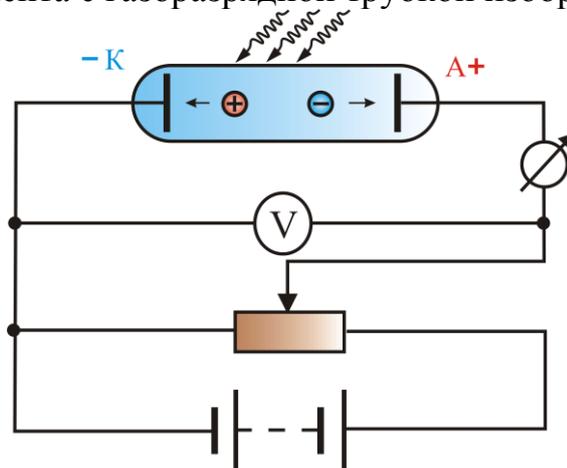
В состоянии равновесия число возникающих ионов в единице объема равно числу рекомбинирующих:

$$\Delta n_i = \Delta n_r = rn^2. \quad (5)$$

Отсюда для равновесной концентрации ионов (числа пар ионов в единице объема) получается следующее выражение:

$$n = \sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}}. \quad (6)$$

Схема эксперимента с газоразрядной трубкой изображена на рисунке.



Проанализируем далее действие электрического поля на процессы в ионизированных газах. Подадим постоянное напряжение на электроды. Положительные ионы будут направляться к отрицательному электроду, а отрицательные заряды – к положительному электроду. Таким образом, часть носителей из газоразрядного промежутка будет уходить к электродам (в цепи возникнет электрический ток). Пусть из единицы объема уходит ежесекундно  $\Delta n_j$  пар ионов. Теперь условие равновесия можно представить в виде

$$\Delta n_i = \Delta n_r + \Delta n_j. \quad (7)$$

1. Рассмотрим случай **слабого поля**:  $\Delta n_j \ll \Delta n_r$ . В цепи будет протекать *слабый ток*. Плотность тока по величине пропорциональна концентрации носителей  $n$ , заряду  $q$ , переносимому каждым носителем и скорости направленного движения положительных и отрицательных ионов  $\bar{v}^+$  и  $\bar{v}^-$ :

$$\vec{j} = nq(\bar{v}^+ + \bar{v}^-). \quad (8)$$

Скорость направленного движения ионов выражается через **подвижность**  $\mu$  и **напряженность**  $\vec{E}$  электрического поля:

$$\bar{v}^+ = \mu_+ \vec{E}, \quad \bar{v}^- = \mu_- \vec{E}. \quad (9)$$

**Подвижность** – физическая величина, численно равная скорости направленного движения ионов в газе под действием поля с напряженностью 1 В/м.

На основании (8) для плотности тока имеем:

$$\vec{j} = nq(\mu_+ + \mu_-)\vec{E}. \quad (10)$$

В слабом поле ( $\Delta n_j \ll \Delta n_r$ ) равновесная концентрация равна:  $n = \sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}}$ .

Подставим это выражение в (8.2.7):

$$\vec{j} = q\sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}}(\mu_+ + \mu_-)\vec{E}. \quad (11)$$

В последнем выражении множитель при  $\vec{E}$  не зависит от напряженности. Обозначив его через  $\sigma$ , мы получим **закон Ома в дифференциальной форме**:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (12)$$

где  $\sigma = q\sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}}(\mu_+ + \mu_-)$  – удельная электропроводность.

**Вывод:** в случае слабых электрических полей ток при несамостоятельном разряде подчиняется закону Ома.

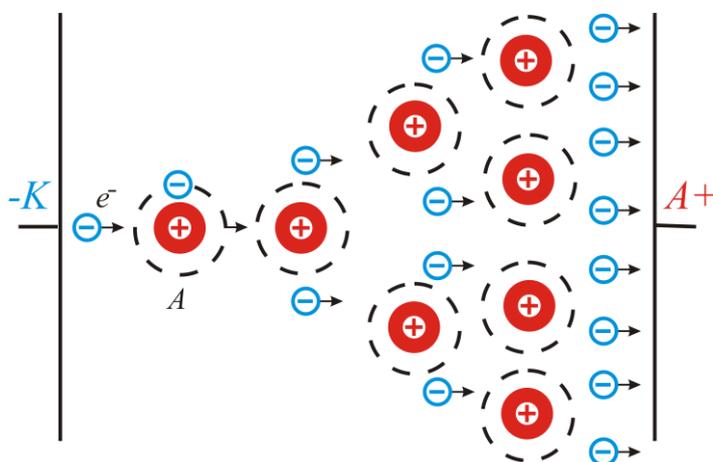
2. Рассмотрим **сильное поле**. В этом случае  $\Delta n_r \ll \Delta n_j$  и  $\Delta n_i = \Delta n_j$ , т. е. все генерируемые ионы уходят из газоразрядного промежутка под действием электрического поля. Это объясняется тем, что за время, требующееся иону, чтобы пролететь в сильном поле  $\vec{E}$  от одного электрода к другому, ионы не успевают сколько-нибудь заметно рекомбинировать. Поэтому все ионы, производимые ионизатором, участвуют в создании тока и уходят на электроды. А так как число, генерируемых ионизатором ионов в единицу времени  $\Delta n_i$ , не зависит от напряженности поля, то плотность тока будет определяться только величиной  $\Delta n_i$  и не будет зависеть от  $\vec{E}$ .

Другими словами, с дальнейшим увеличением приложенного напряжения ток перестает расти и *остаётся постоянным*.

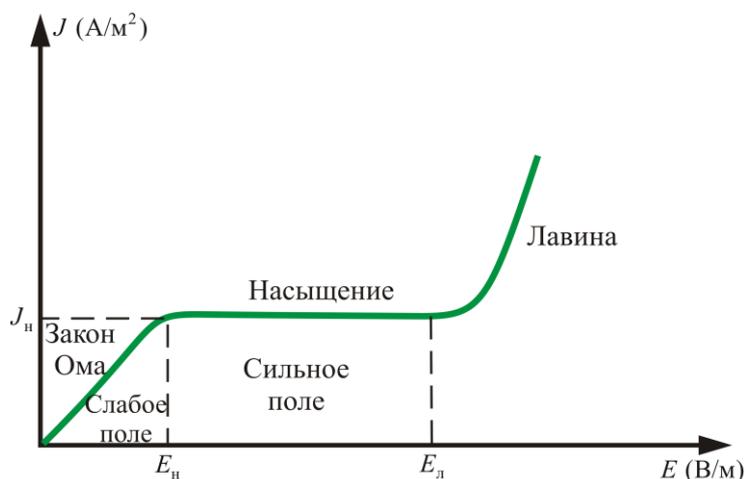
*Максимальное значение тока, при котором все образующиеся ионы уходят к электродам, носит название тока насыщения.*

Дальнейшее увеличение напряженности поля ведет к образованию *лавины* электронов, когда возникшие под действием ионизатора электроны приобретают на длине свободного пробега (от столкновения до столкновения) энергию, достаточную для ионизации молекул газа (ударная ионизация). Возникшие при этом вторичные электроны, разогнавшись, в свою очередь, производят ионизацию и т. д. – происходит *лавинообразное размножение первичных ионов и электронов*, созданных внешним ионизатором и *усиление разрядного тока*.

На рисунке изображен процесс образования лавины.



Полученные результаты можно изобразить графически (рисунок 8.3) в виде вольтамперной характеристики несамостоятельного газового разряда.



**Вывод:** для несамостоятельного разряда при малых плотностях тока, т.е. когда основную роль в исчезновении зарядов из газоразрядного промежутка играет процесс рекомбинации, имеет место закон Ома ( $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ ); при больших полях ( $E \geq E_H$ ) закон Ома не выполняется – наступает явление насыщения, а при полях превышающих  $E_H$  – возникает лавина зарядов, обуславливающая значительное увеличение плотности тока.

#### 8.4. Самостоятельный газовый разряд

Рассмотренный выше процесс возникновения и образования лавин за счет ударной ионизации не утрачивает характера несамостоятельного разряда, т.к. в случае прекращения действия внешнего ионизатора разряд быстро исчезает.

Однако возникновение и образование лавины зарядов не ограничивается процессом ударной ионизации. При дальнейшем, сравнительно небольшом увеличении напряжения, на электродах газоразрядного промежутка, положительные ионы приобретают большую энергию и, ударяясь о катод, выбивают из него электроны, происходит *вторичная электронная эмиссия*. Возникшие свободные электроны на пути к аноду производят ударную ионизацию молекул газа. Положительные ионы на пути к катоду при электрических полях  $E = E_H$  сами ионизируют молекулы газа.

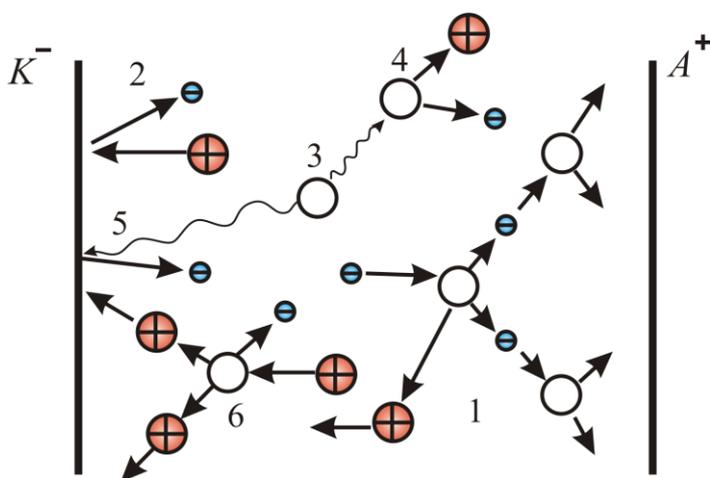
Если каждый выбитый с катода электрон способен ускориться и производить ударную ионизацию молекул газа, то разряд будет поддерживаться и после прекращения воздействия внешнего ионизатора. Напряжение, при котором развивается самостоятельный разряд, называется *напряжением замыкания*.

На основании сказанного, *самостоятельным разрядом* будем называть такой газовый разряд, в котором носители тока возникают в результате тех процессов в газе, которые обусловлены приложенным к газу напряжением. Т.е. данный разряд продолжается и после прекращения действия ионизатора.

Когда межэлектродный промежуток перекрывается полностью проводящей газоразрядной плазмой, наступает его *пробой*. Напряжение, при котором происходит пробой межэлектродного промежутка, называется *пробивным напряжением*. А соответствующая напряженность электрического поля носит название *пробивная напряженность*.

Рассмотрим условия возникновения и поддержания самостоятельного разряда.

При больших напряжениях между электродами газового промежутка ток сильно возрастает. Это происходит вследствие того, что возникающие под действием внешнего ионизатора электроны, сильно ускоренные электрическим полем, сталкиваются с нейтральными молекулами газа и ионизируют их. В результате этого образуются *вторичные электроны* и *положительные ионы* (процесс 1 на рисунке). Положительные ионы движутся к катоду, а электроны – к аноду. Вторичные электроны вновь ионизируют молекулы газа, и, следовательно, общее количество электронов и ионов будет возрастать по мере продвижения электронов к аноду лавинообразно. Это и является причиной увеличения электрического тока. Описанный процесс называется *ударной ионизацией*.



Однако ударная ионизация под действием электронов недостаточна для поддержания разряда при удалении внешнего ионизатора. Для этого необходимо, чтобы электронные лавины «воспроизводились», т.е. чтобы в газе под действием каких-то процессов возникали новые электроны. Это следующие процессы:

- ускоренные электрическим полем положительные ионы, ударяясь о катод, выбивают из него электроны (процесс 2);
- положительные ионы, сталкиваясь с молекулами газа, переводят их в возбужденное состояние; переход таких молекул в основное состояние сопровождается испусканием фотонов (процесс 3);
- фотон, поглощенный нейтральной молекулой, ионизирует ее, происходит процесс фотонной ионизации молекул (процесс 4);
- выбивание электронов из катода под действием фотонов (процесс 5);

наконец, при значительных напряжениях между электродами газового промежутка наступает момент, когда положительные ионы, обладающие меньшей длиной свободного пробега, чем электроны, приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа (процесс 6), и к отрицательной пластине устремляются ионные лавины. Когда возникают, кроме электронных лавин, еще и ионные, сила тока растет уже практически без увеличения напряжения.

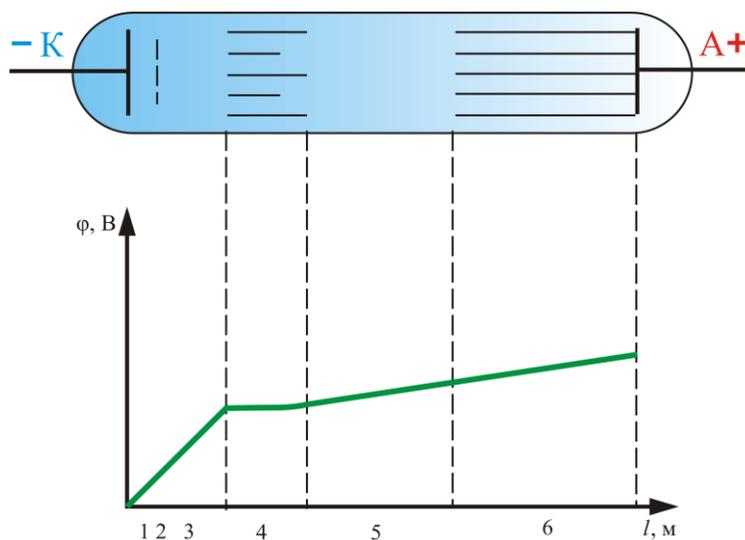
## 8.5. Типы разрядов

В зависимости от давления газа, конфигурации электродов и параметров внешней цепи существует четыре типа самостоятельных разрядов:

1. Тлеющий разряд;
2. Искровой разряд;
3. Дуговой разряд;
4. Коронный разряд.

1. **Тлеющий разряд** возникает при низких давлениях. Его можно наблюдать в стеклянной трубке с впаянными у концов плоскими металлическими электродами. Вблизи катода располагается тонкий светящийся слой, называемый *катодной светящейся пленкой* 2.

Между катодом и пленкой находится *астоново темное пространство* 1. Справа от светящейся пленки помещается слабо светящийся слой, называемый *катодным темным пространством* 3. Этот слой переходит в светящуюся область, которую называют *тлеющим свечением* 4, с тлеющим пространством граничит тёмный промежуток – *фарадеево тёмное пространство* 5. Все перечисленные слои образуют *катодную часть* тлеющего разряда. Вся остальная часть трубки заполнена светящимся газом. Эту часть называют *положительным столбом* 6.



При понижении давления катодная часть разряда и фарадеево тёмное пространство увеличивается, а положительный столб укорачивается.

Измерения показали, что почти все падения потенциала приходятся на первые три участка разряда (астоново темное пространство, катодная светящаяся плёнка и катодное тёмное пятно). Эту часть напряжения, приложенного к трубке, называют *катодным падением потенциала*.

В области тлеющего свечения потенциал не изменяется – здесь напряженность поля равна нулю. Наконец, в фарадеевом тёмном пространстве и положительном столбе потенциал медленно растёт.

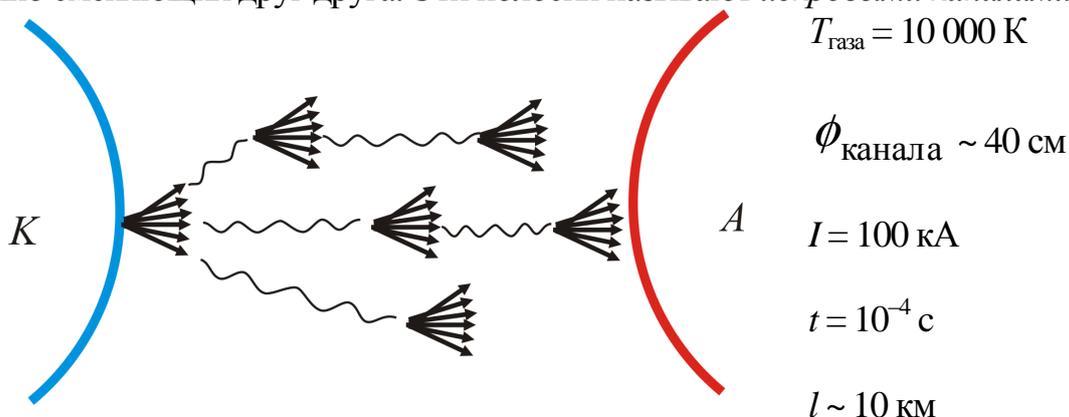
Такое распределение потенциала вызвано образованием в катодном темном пространстве положительного пространственного заряда, обусловленного повышенной концентрацией положительных ионов.

Положительные ионы, ускоренные катодным падением потенциала, бомбардируют катод и выбивают из него электроны. В астоновом темном пространстве эти электроны, пролетевшие без столкновений в область катодного тёмного пространства, имеют большую энергию, вследствие чего они чаще ионизируют молекулы, чем возбуждают. Т.е. интенсивность свечения газа уменьшается, но зато образуется много электронов и положительных ионов. Образовавшиеся ионы в начале имеют очень малую скорость и потому в катодном тёмном пространстве создаётся положительный пространственный заряд, что и приводит к перераспределению потенциала вдоль трубки и к возникновению катодного падения потенциала.

Электроны, возникшие в катодном тёмном пространстве, проникают в область тлеющего свечения, которая характеризуется высокой концентрацией электронов и положительных ионов колларным пространственным зарядом, близким к нулю (плазма). Поэтому напряженность поля здесь очень мала. В области тлеющего свечения идёт интенсивный процесс рекомбинации, сопровождающийся излучением выделяющейся при этом энергии. Таким образом, тлеющее свечение есть, в основном, свечение рекомбинации.

Из области тлеющего свечения в фарадеево тёмное пространство электроны и ионы проникают за счёт диффузии. Вероятность рекомбинации здесь сильно падает, т.к. концентрация заряженных частиц невелика. Поэтому в фарадеевом тёмном пространстве имеется поле. Увлекаемые этим полем электроны накапливают энергию и часто в конце концов возникают условия, необходимые для существования плазмы. Положительный столб представляет собой газоразрядную плазму. Он выполняет роль проводника, соединяющего анод с катодными частями разряда. Свечение положительного столба вызвано, в основном, переходами возбужденных молекул в основное состояние.

2. **Искровой разряд** возникает в газе обычно при давлениях порядка атмосферного. Он характеризуется прерывистой формой. 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*.

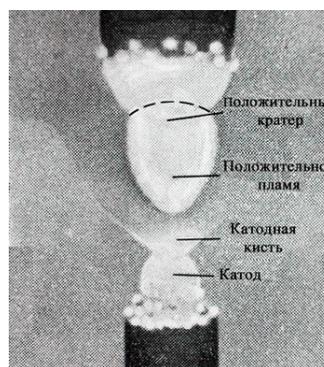
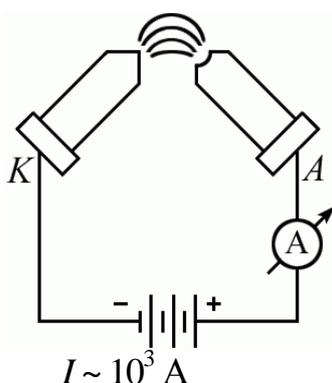


После того, как разрядный промежуток «пробит» искровым каналом, сопротивление его становится малым, через канал проходит кратковременный импульс тока большой силы, в течение которого на разрядный промежуток приходится лишь незначительное напряжение. Если мощность источника не очень велика, то после этого импульса тока разряд прекращается. Напряжение между электродами начинает повышаться до прежнего значения, и пробой газа повторяется с образованием нового искрового канала.

В естественных природных условиях искровой разряд наблюдается в виде молнии. На рисунке изображен пример искрового разряда – молния, продолжительностью  $0,2 \div 0,3\text{ с}$  с силой тока  $10^4 - 10^5\text{ А}$ , длиной  $20\text{ км}$  (рисунок 8.7).

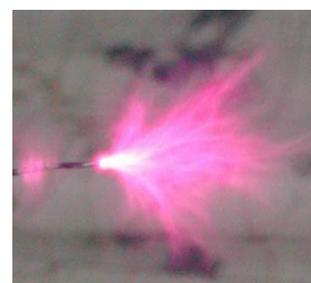
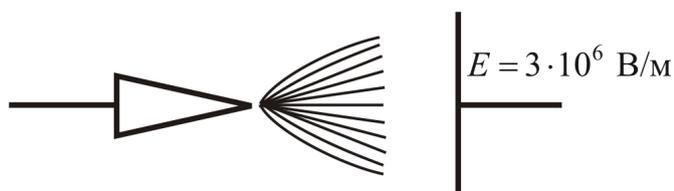


3. **Дуговой разряд.** Если после получения искрового разряда от мощного источника постепенно уменьшать расстояние между электродами, то разряд из прерывистого становится непрерывным, возникает новая форма газового разряда, называемая *дуговым разрядом*.



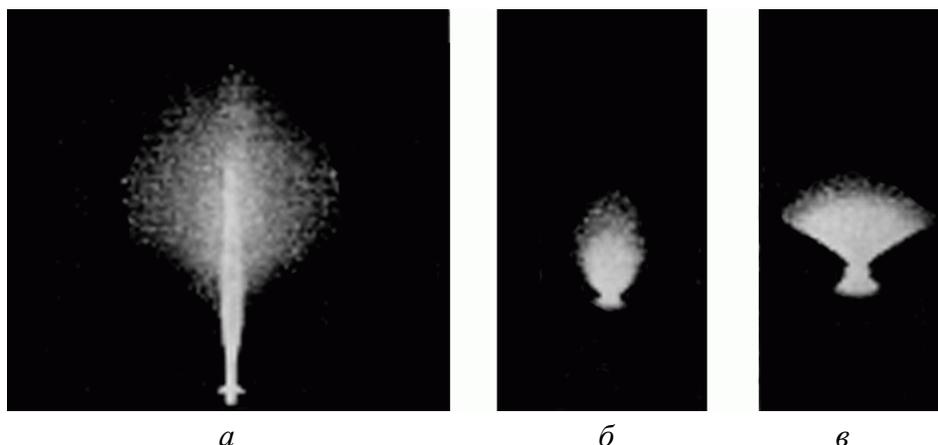
При этом ток резко увеличивается, достигая десятков и сотен ампер, а напряжение на разрядном промежутке падает до нескольких десятков вольт. Согласно В. Ф. Литкевичу (1872 – 1951), дуговой разряд поддерживается, главным образом, за счет термоэлектронной эмиссии с поверхности катода. На практике – это сварка, мощные дуговые печи.

4. **Коронный разряд** возникает в сильном неоднородном электрическом поле при сравнительно высоких давлениях газа (порядка атмосферного). Такое поле можно получить между двумя электродами, поверхность одного из которых обладает большой кривизной (тонкая проволоочка, острие).



Наличие второго электрода необязательна, но его роль могут играть ближайшие, окружающие заземленные металлические предметы. Когда электрическое поле вблизи электрода с большой кривизной достигает примерно  $3 \cdot 10^6$  В/м, вокруг не-

го возникает свечение, имеющее вид оболочки или короны, откуда и произошло название заряда.



Кистеобразные формы коронного разряда в атмосферном воздухе. Острие с гиперболической вершиной (радиус кривизны 1,5 мм): *a* – потенциал острия +25 кВ, стримерная корона; *б* – потенциал острия –25 кВ, отрицательная корона в импульсном режиме; *в* – потенциал острия –60 кВ, отрицательная корона в непрерывном режиме

В зависимости от знака коронирующего электрода различают отрицательную или положительную корону.

- Коронирует катод – отрицательная корона: электроны выбиваются из катода при его бомбардировке положительными ионами. Электроны вызывают ударную ионизацию молекул газа.
- Коронирует анод – положительная корона: электроны рождаются вследствие фотоионизации газа вблизи анода.

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

Вредное действие: радиопомехи; возникновение на проводах высоковольтных ЛЭП приводит к утечке тока (для снижения утечки высоковольтные провода делают большего диаметра).