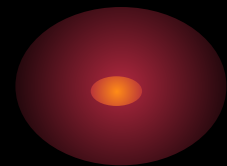
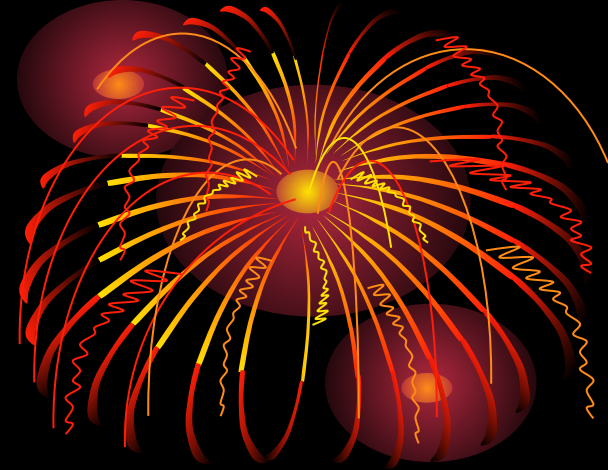
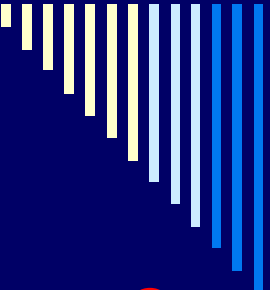


*Электропроводность  
диэлектриков*





# Электропроводность диэлектриков

- **Электропроводность** – способность материала проводить электрический ток.
- **Электрический ток** – направленное движение заряженных частиц.

В диэлектриках возможно присутствие:

- **свободных зарядов;**
- **связанных зарядов.**

Направленное перемещение **связанных зарядов** называется **током смещения** ( $i_{см}$ ) или **абсорбционным током** ( $i_{аб}$ ).

Направленное движение **свободных зарядов** называется **сквозным током** ( $i_{скв}$ ).

---

Наличие **абсорбционного тока** в диэлектрике обусловлено происходящими в нем поляризационными процессами: либо мгновенно протекающими ( $\approx 10^{-13} \div 10^{-15}$  с), либо замедленно (**релаксационные** виды поляризации).

$$i_{см} = i_{аб} = i_{мгн} + i_p$$

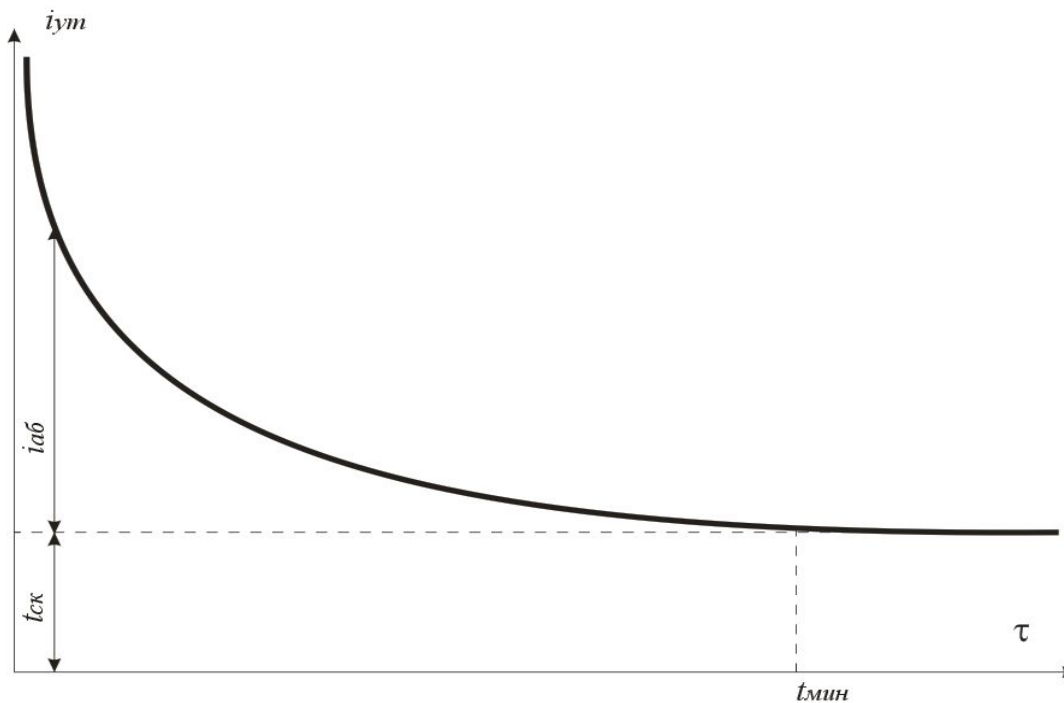
При приложении к диэлектрику электрического поля **постоянного напряжения** **абсорбционный ток** протекает только в момент приложения и снятия напряжения.

При **переменном напряжении**  $i_{аб}$  протекает постоянно.

Ток , протекающий в диэлектрике, называется **током утечки** ( $i_{ут}$ ).

**Ток утечки** представляет собой сумму **сквозного тока** и **тока абсорбции**:

$$i_{ут} = i_{скв} + i_{аб}$$



Электропроводность диэлектриков носит, в основном, **ионный** характер.

**Ионы переносят с собой часть вещества.**

**Сопротивление изоляции** определяется величиной **сквозного тока**:

$$R_{и\text{и}} = \frac{U}{i_{скв}} = \frac{U}{i_{ут} - i_{абс}}$$

Ток, измеренный через **1 минуту** после приложения к диэлектрику постоянного напряжения, принимается за **сквозной ток**.

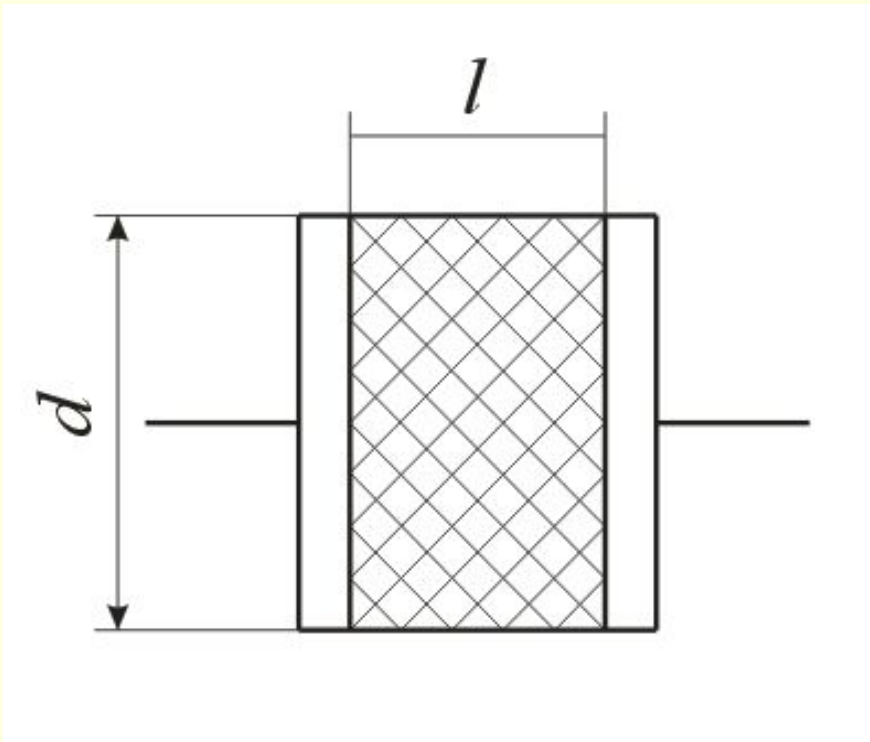
Для твердых диэлектриков различают **объемную** и **поверхностную проводимость**.

---

Для количественной оценки способности материала проводить электрический ток используются:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l \cdot h}, \quad \cdot$$

- удельное объемное сопротивление ( $\rho$ ) или удельная объемная проводимость ( $\gamma$ );
- $R$  – объемное сопротивление образца, Ом;
- $S$  – площадь электрода,  $m^2$ ;
- $h$  – площадь образца,  $m$ .



$$\gamma = \frac{1}{\rho}, \text{См} / \text{м}$$

$$\rho_s = \frac{R_s \cdot d}{l}, \text{Ом}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho_s}, \text{см}(\text{сименс})$$

В процессе эксплуатации диэлектрика **сквозной ток** через него **либо увеличивается, либо уменьшается.**

**Увеличение сквозного тока** говорит об участии в электропроводности зарядов, являющихся структурными элементами самого материала, т. е. об изменении химического состава материала – **старении изоляции** (**необратимом ухудшении изоляционных свойств**).

**Уменьшение сквозного тока** говорит об **электрической очистке материала** за счет удаления примесей (ионы примесей переносят с собой часть вещества) .

Электропроводность диэлектриков зависит от :

- **агрегатного состояния вещества;**
- **влажности;**
- **температуры.**

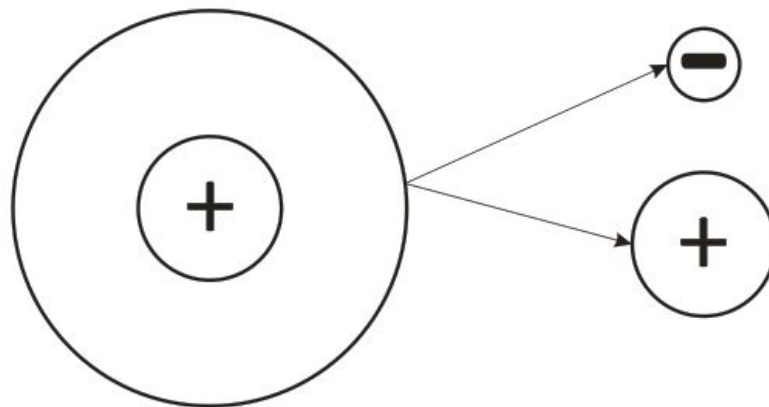


# Электропроводность газов

Электропроводность газов *очень мала* при *небольших значениях напряженности* электрического поля.

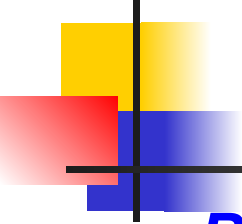
Ток в газах возникает при появлении в них *ионов* или *свободных электронов* за счет *ионизации молекул*.

**Ионизация** молекулы – это *распад* молекулы на *электрон* и *положительно заряженный ион*.



Ионизация нейтральных молекул газа возникает:

- ***Под действием внешних факторов:***  
рентгеновские лучи, ультрафиолетовое излучение, нагрев, радиоактивные излучения и т. п.
- ***Вследствие соударения*** разогнанных электрическим полем заряженных частиц с молекулами.



Электропроводность газов, обусловленная воздействием внешних факторов, называется **несамостоятельной**.

---

**В  $1 \text{ см}^3$  газа** при нормальных условиях каждую секунду образуется **от 3 до 5 пар заряженных частиц**. Часть из них исчезает – **рекомбинирует** (положительно заряженный ион и свободный электрон при столкновении образуют нейтральную молекулу).

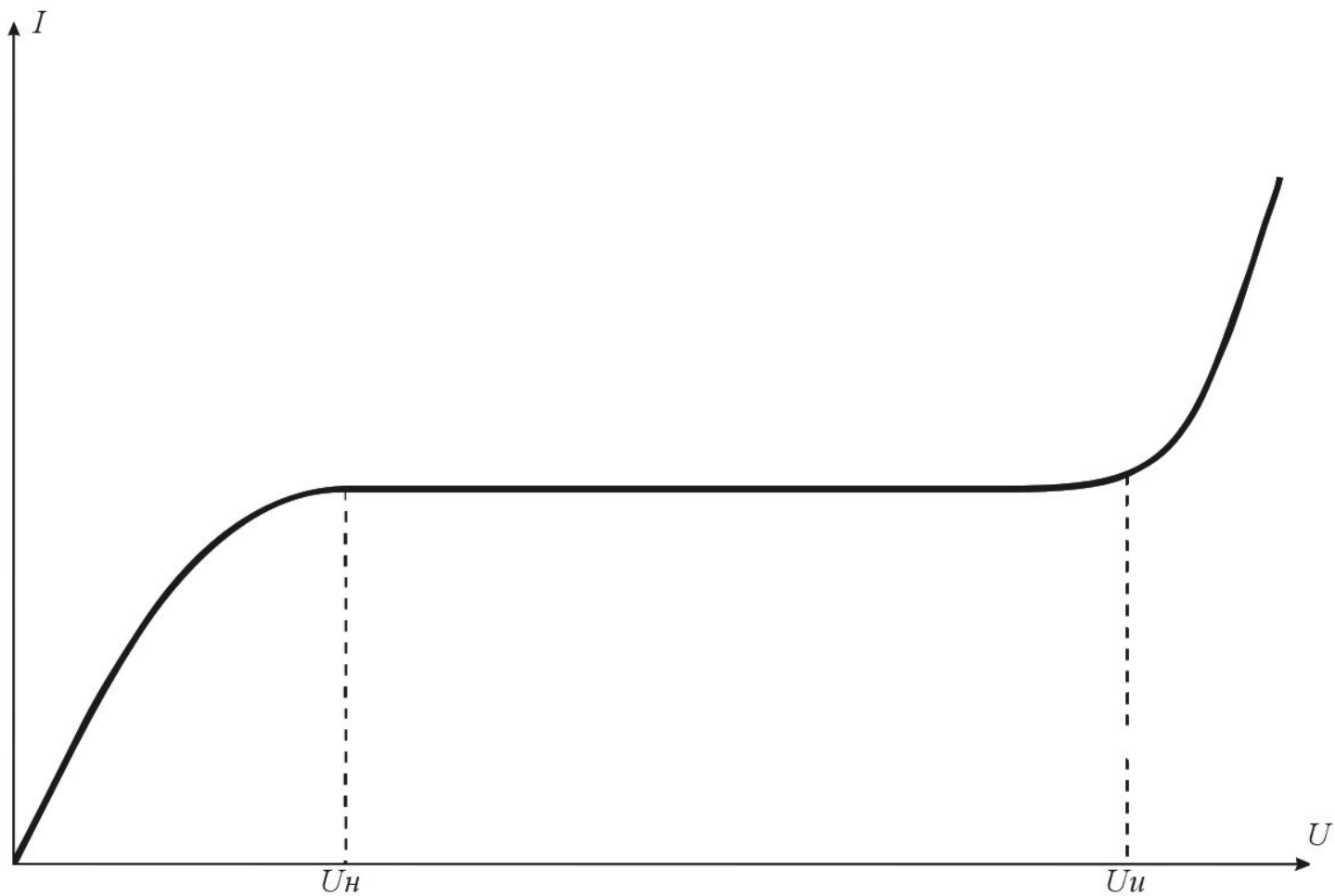
Электропроводность газов, обусловленная ионизацией молекул под действием электрического поля, называется **самостоятельной**.

**Самостоятельная электропроводность** проявляется только в **сильных электрических полях**.

## *Виды ионизации молекул*

- **Ударная ионизация** – распад молекулы при соударении с электроном, если энергия приобретенная им под действием электрического поля достаточна для ионизации молекулы.
- **Фотонная ионизация** – ионизация молекулы за счет захвата фотонов.
- **За счет захвата** молекулой электрона при их столкновении образуются **отрицательные ионы** (*только для электроотрицательных газов*).

## *Зависимость тока в газах от напряжения*



## Пояснение графика зависимости тока от напряжения

- **I участок кривой** ( до напряжения насыщения -  $U_n$  ) выполняется закон Ома – ток пропорционален напряжению;
- **II участок (горизонтальный)**: при напряжении  $U_n$  скорость дрейфа ионов настолько возрастает, что вероятность их рекомбинации уменьшается, и, в основном, все ионы устремляются к электродам.  
**Плотность тока насыщения**  $\sim 10^{-15} \text{ A/m}^2$ , достигается ток насыщения в воздухе при  $h=10 \text{ мм}$  и  $E=0,6 \text{ В/м}$ .
- **III участок**: при напряжении, большем **напряжения ионизации** ( $U_{ii}$ ) возникает **ударная ионизация** и проявляется **самостоятельная электропроводность**.  
Для воздуха  $E_{ii}=10^5 \div 10^6 \text{ В/м}$ .

## Электропроводность жидкостей

Характер электропроводности зависит от **строения жидкого диэлектрика**:

- В **неполярных** – электропроводность обусловлена наличием примесей, особенно влаги:
- В **полярных** – наличием примесей и диссоциацией молекул самой жидкости

Жидкий диэлектрик	Особенности строения	$\rho, \text{ Ом м}$	$\varepsilon$
трансформаторное масло	неполярный	$10^{11} \div 10^{12}$	2,2
совол	полярный	$10^8 \div 10^{10}$	4,5
дистиллированная вода	сильнополярный	$10^3 \div 10^4$	81,0

Возрастание диэлектрической проницаемости приводит к росту проводимости жидких диэлектриков ( $\uparrow \epsilon \rightarrow \gamma \uparrow \rightarrow \rho \downarrow$ ).

*Сильнополярные жидкости* отличаются настолько высокой проводимостью, что являются уже не диэлектриками, а **проводниками с ионной электропроводностью**.

*Очистка жидких диэлектриков* от содержащихся в них примесей значительно повышает их  **$\rho$** .

При длительном протекании тока через неполярный жидкий диэлектрик возможно увеличение сопротивления за счет переноса свободных ионов примесей к электродам (**электрическая очистка**).

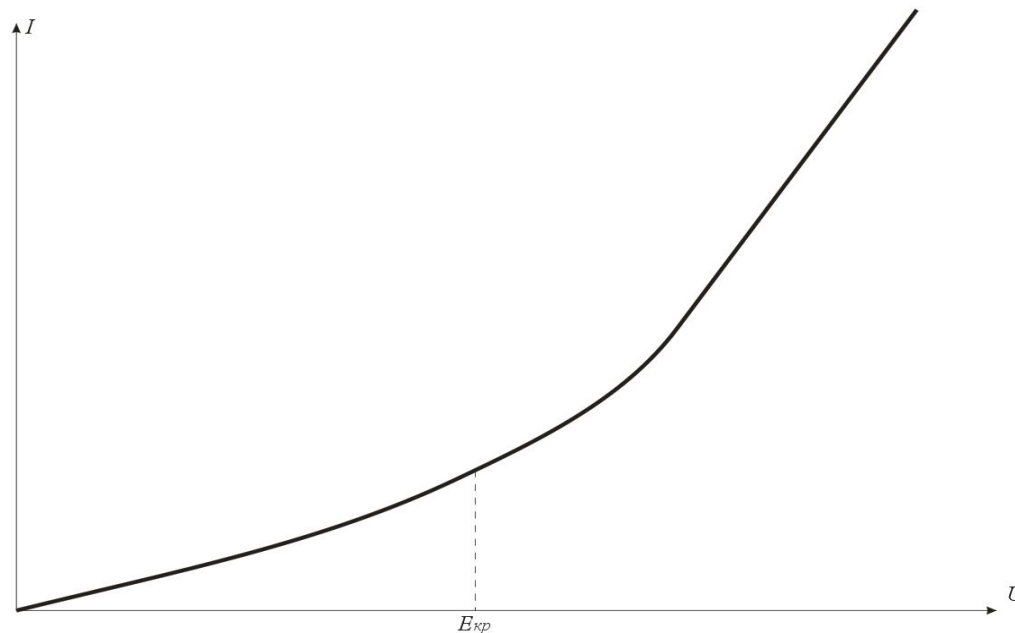


При повышении температуры проводимость жидких диэлектриков увеличивается по экспоненте:

$$\gamma = \gamma_0 \exp at,$$

где  $\gamma_0$  - проводимость жидкого диэлектрика при 0 градусов Цельсия;  $a$  – постоянная;  $t$  – температура нагрева диэлектрика.

*Зависимость тока от приложенного напряжения для жидких диэлектриков*



# Коллоидные системы

- **Эмульсии** (оба компонента - жидкости);
- **Суспензии** (твердые частицы в жидкости);
- **Аэрозоли** (твердые и жидкие частицы в газе).

В коллоидных системах частицы одного из компонентов очень малы и распылены в объеме основного элемента.

Частицы распыленного компонента спонтанно приобретают заряд и ведут себя как свободные носители заряда – **молионы**.

Направленное перемещение **молионов** называется **молионной** или **электрофоретической** электропроводностью.

# *Электропроводность твердых диэлектриков*

---

Электропроводность твердых диэлектриков обусловлена:

**▣ Перемещением ионов самого диэлектрика;**

**▣ Перемещением ионов примесей;**

**▣ Перемещением свободных электронов** – электронная электропроводность проявляется только в сильных электрических полях.

**Ионная электропроводность** сопровождается переносом вещества. В процессе прохождения тока через твердый диэлектрик содержащиеся в нем ионы примеси могут частично удаляться, оседая на электродах.

---

*Электропроводность твердых диэлектриков зависит от их строения:*

□ ***В диэлектриках ионной структуры***

электропроводность обусловлена перемещением ионов, которые освобождаются в результате теплового движения:

- при низких температурах передвигаются слабо закрепленные ионы примесей;
- при высоких температурах освобождаются ионы из узлов кристаллической решетки – электрохимическое старение вещества.

□ ***В диэлектриках атомарной или молекулярной***

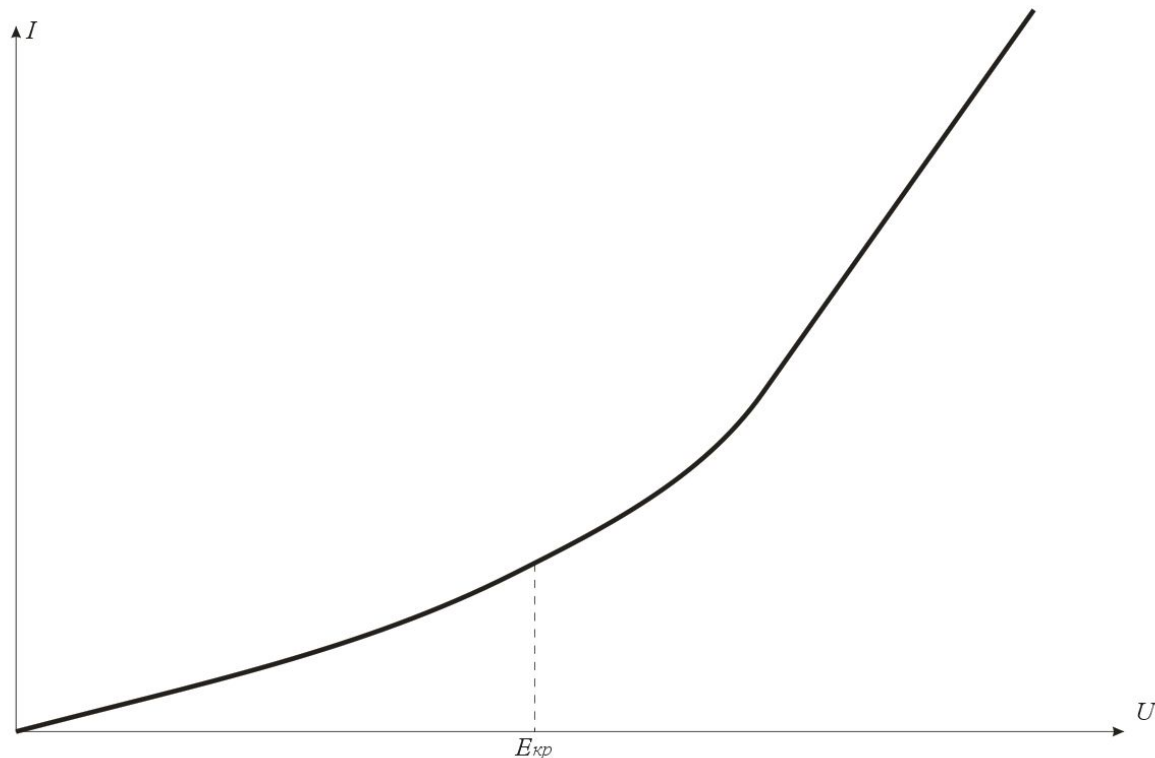
***структуры*** электропроводность обусловлена только наличием примесей (***примесная*** электропроводность)

---

## ***Особенности электропроводности твердых диэлектриков***

- Проводимость аморфных твердых диэлектриков одинакова во всех направлениях (парафин, полистирол, ФФС – фенолформальдегидная смола);
- Проводимость твердых диэлектриков неодинакова по разным осям кристалла (для кварца различается более, чем в 1000 раз);
- Наличие влаги в пористых диэлектриках приводит к резкому увеличению проводимости.

## Зависимость тока в твердых диэлектриках от напряженности поля



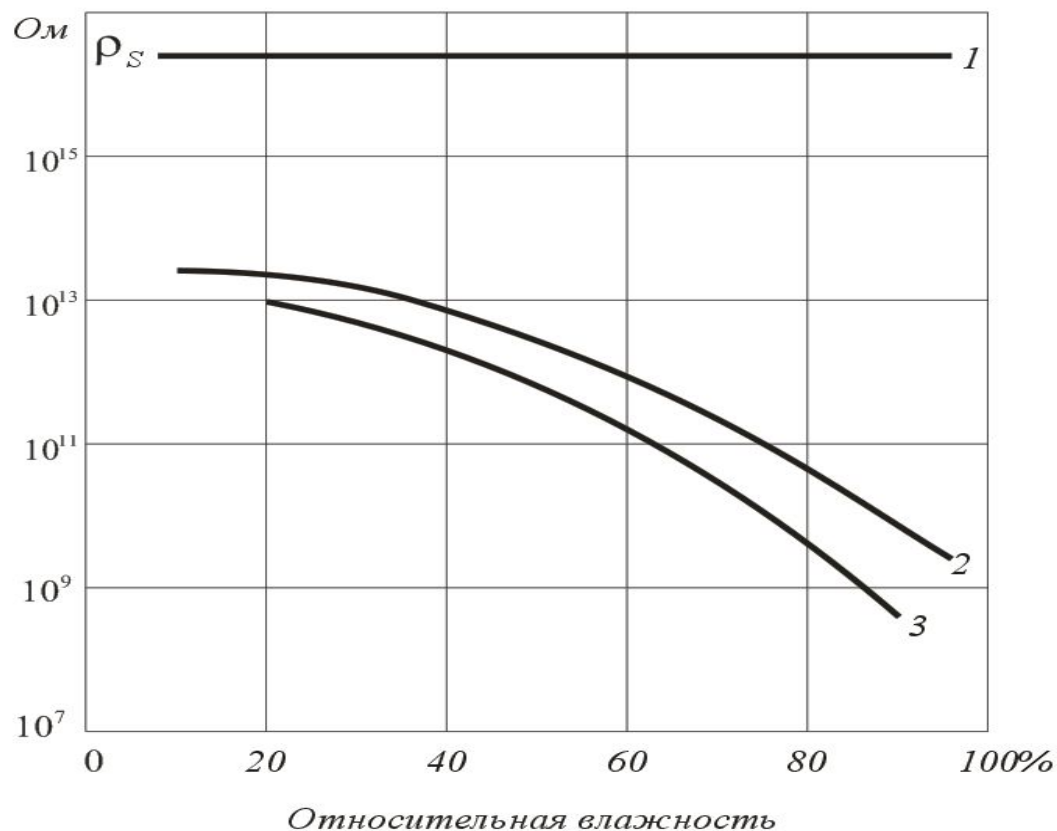
**I участок** – соблюдается закон Ома;

**II участок** – проявляется электронная электропроводность ( $E_{кр} = 10 \div 100$  мВ/м)

# Поверхностная электропроводность твердых диэлектриков

Поверхностная электропроводность обусловлена наличием **влаги** или **загрязнением** диэлектрика.

**Адсорбция влаги** на поверхности диэлектрика зависит от **относительной влажности** воздуха и **структуры материала**.



## **Выводы по теме «Электропроводность»**

- Диэлектрики, используемые в качестве изоляционных материалов, обладают высокими значениями  $\rho$ , т. е. практически не проводят электрический ток.
- Малые токи, протекающие в диэлектрике, называются токами утечки.
- Электропроводность в диэлектриках носит преимущественно ионный характер и только в сильных электрических полях становится электронной.
- В слабых электрических полях в диэлектриках проявляется несобственная (**примесная**) электропроводность.



- В сильных электрических полях при  $U > U_{и}$  проявляется *собственная электропроводность*, обусловленная развитием ударной и фотонной ионизацией.
- Электропроводность диэлектриков зависит от их строения и агрегатного состояния.
- В жидких диэлектриках, представляющих собой коллоидные системы (лаки, компаунды, увлажненное масло), проявляется молионная или электрофоретическая электропроводность
- Свободные ионы переносят с собой часть вещества
- Для твердых диэлектриков характерна поверхностная проводимость, зависящая от строения диэлектрика и условий его эксплуатации

- $\gamma$  зависит от температуры: с увеличением  $t$  проводимость возрастает по экспоненциальному закону, т. к. увеличивается число свободных носителей зарядов
- Закон Ома справедлив для жидких и твердых диэлектриков только в слабых электрических полях, а для газов – в очень слабых
- Сквозной ток характеризует состояние изоляции (ее сопротивление)
- Увеличение  $i_{скв}$  «говорит» об уменьшении  $R_{из}$

- Уменьшение  $i_{СКВ}$  «говорит» об увеличении  $R_{из}$  за счет электрической очистки диэлектрика
- Необратимое уменьшение  $R_{из}$  является признаком старения изоляции (необратимого ухудшения ее изоляционных свойств)