

# **Электролиз расплавов и водных растворов солей**

Единственный путь, ведущий к знанию, – это деятельность.

Б. Шоу

## Электролиз водных растворов и расплавов солей

- **Электролиз** – это окислительно-восстановительный процесс, происходящий на электродах при прохождении постоянного электрического тока через раствор или расплав электролита.
- Упорядоченное движение ионов в проводящих жидкостях происходит в электрическом поле, которое создается **электродами** – проводниками, соединенными с полюсами источника электрической энергии.
- **Катод** (от греч. κάθοδος – ход вниз; нисхождение) – электрод некоторого прибора, присоединённый к отрицательному полюсу источника тока.
- **Ано́д** (др.-греч. ἄνοδος – движение вверх) – электрод некоторого прибора, присоединённый к положительному полюсу источника питания. Электрический потенциал анода положителен по отношению к потенциалу катода (кроме гальванических элементов).

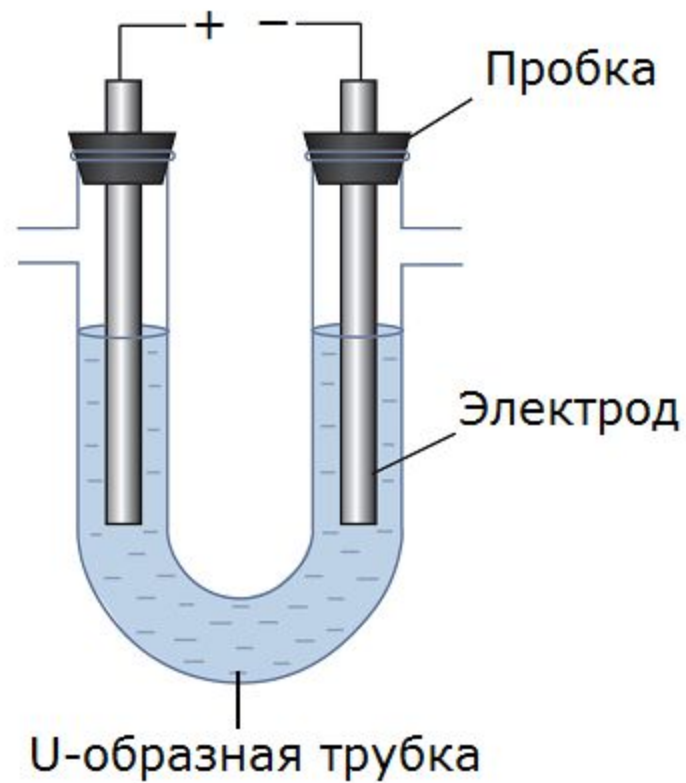
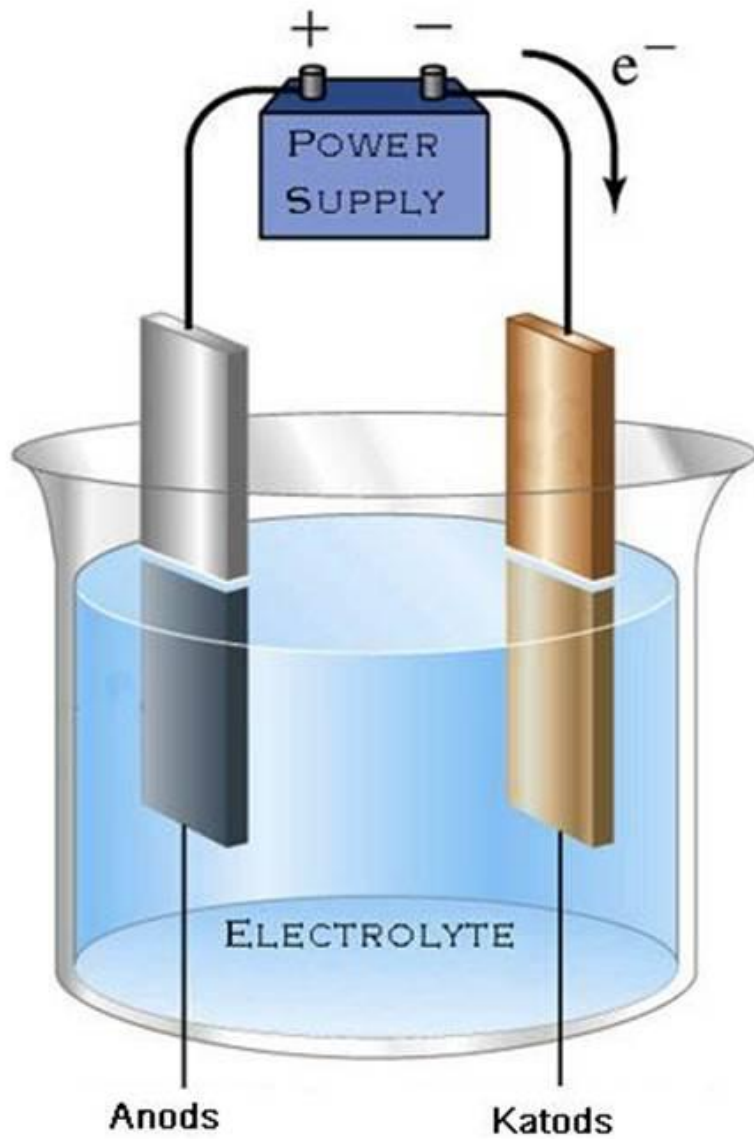
## Электролиз водных растворов и расплавов солей

- Положительные ионы – катионы – (ионы металлов, ионы водорода, ионы аммония и др.) – движутся к катоду, отрицательные ионы – анионы – (ионы кислотных остатков и гидроксильные группы) – движутся к аноду.
- Отрицательный электрод – катод – отдает электроны частицам вещества в электролите и **восстанавливает** их.
- Положительный электрод – анод – отбирает электроны от частиц в электролите, **окисляя** их.
- Процесс электролиза идет только при достаточной разности потенциалов между электродами, обеспечивающей затрату необходимой работы.

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Li Rb K Cs Ra Ba Sr Ca Na Mg Be Ti Al Mn V Cr Zn Fe Cd Co Ni Sn Pb **H** Cu Ag Os Pd Hg Pt Au

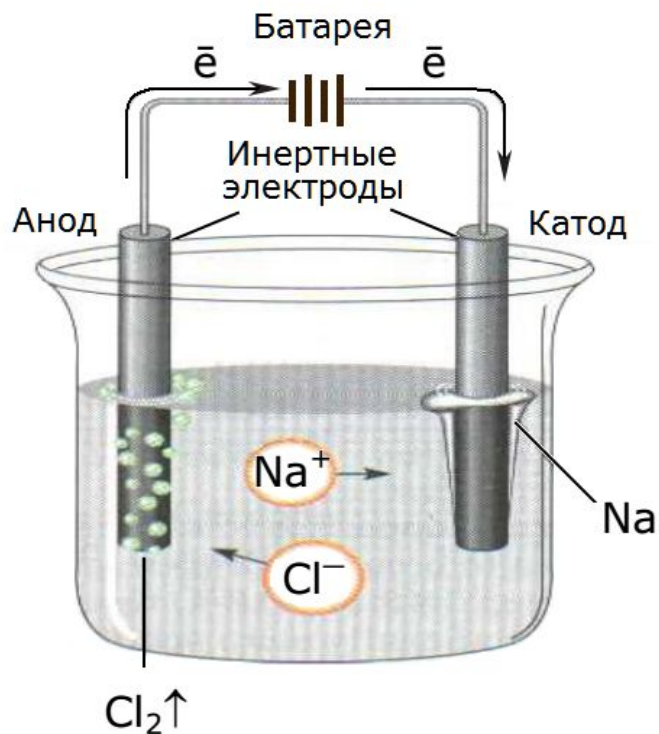
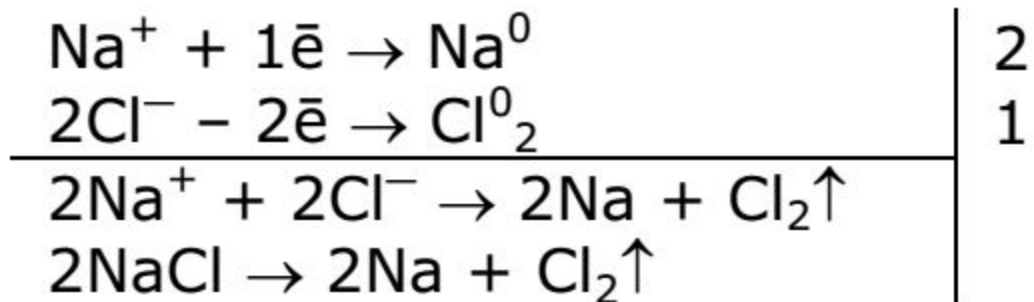
# Электролиз водных растворов и расплавов солей



## Электролиз расплавов

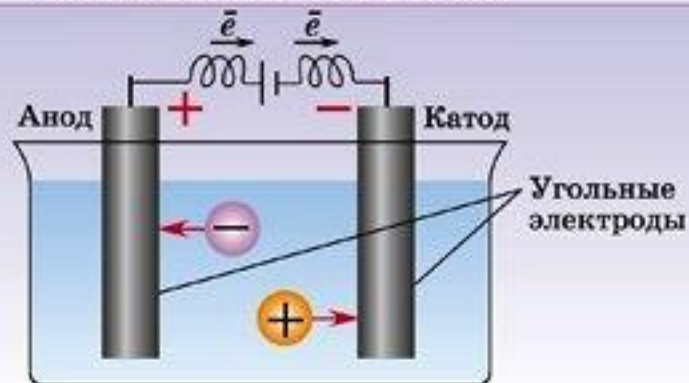
- **Пример 1.** Электролиз расплава NaCl
- $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

К(-)  $\text{Na}^+$   
 А(+)  
 $\text{Cl}^-$

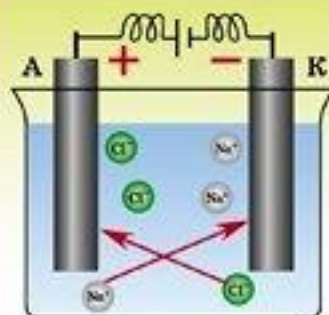


# ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСПЛАВОВ СОЛЕЙ С УГОЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

## Электролитическая ванна



## Электролиз расплава хлорида натрия



Ионы в расплаве:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$

Процесс на катоде:  $\text{Na}^+ + \vec{e} \rightarrow \text{Na}^0$

Процесс на аноде:  $2\text{Cl}^- - 2\vec{e} \rightarrow \text{Cl}_2^0 \uparrow$

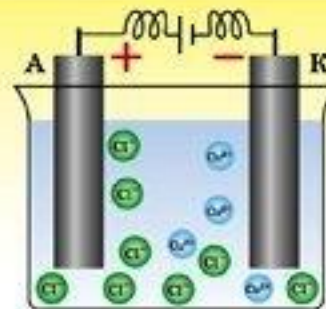
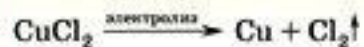


## Электролиз расплава хлорида меди (II)

Ионы в расплаве:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$

Процесс на катоде:  $\text{Cu}^{2+} + 2\vec{e} \rightarrow \text{Cu}^0$

Процесс на аноде:  $2\text{Cl}^- - 2\vec{e} \rightarrow \text{Cl}_2^0 \uparrow$

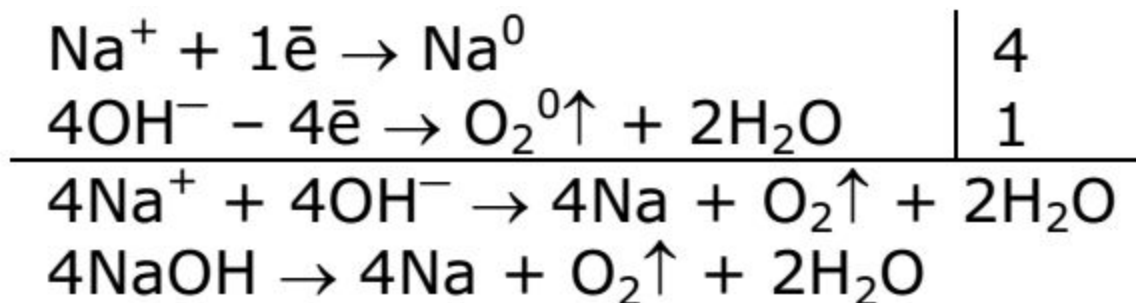


## Электролиз расплавов

- **Пример 2.** Электролиз расплава NaOH
- $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

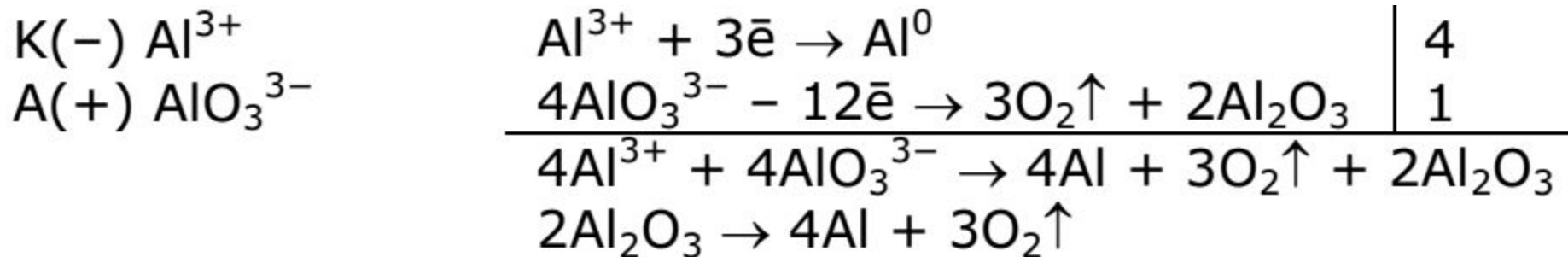
К(-)  $\text{Na}^+$

А(+)  
 $\text{OH}^-$



## Электролиз расплавов

- **Пример 3.** Электролиз расплава  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{AlO}_3^{3-}$





## Электролиз водных растворов

- **Электролиз растворов**

- **Катодные** (восстановительные) **процессы**. На катоде происходит восстановление катионов металлов и водорода или молекул воды.

Для растворов кислот:  $K(-) H^+, H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2^0 \uparrow$ .

Для растворов солей или щелочей:  $K(-) M^{n+}, H_2O$ .

Характер восстановительного процесса зависит от значения стандартного электродного потенциала металла:

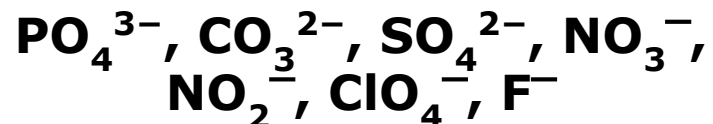
<b>Li, Cs, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al</b>	<b>Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Pb</b>	<b>Bi, Cu, Ag, Hg, Pt, Au</b>
Катионы этих металлов не восстанавливаются, восстановлению подвергаются молекулы воды $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + OH^-$	Катионы этих металлов восстанавливаются одновременно с молекулами воды, поэтому на катоде одновременно выделяются и $H_2$ и металл	Катионы этих металлов легко и полностью восстанавливаются на катоде

## Электролиз водных растворов

- **Анодные** (окислительные) **процессы**. При электролизе растворов используют растворимые и нерастворимые аноды. Нерастворимые аноды изготавливают из углерода или платины, а растворимые – из цинка, меди, никеля и других металлов. На нерастворимом аноде происходит окисление анионов или молекул воды.



Анионы кислот, не содержащих атомов кислорода (за исключением  $\text{F}^-$ ), легко окисляются:  
$$2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}_2 \uparrow$$



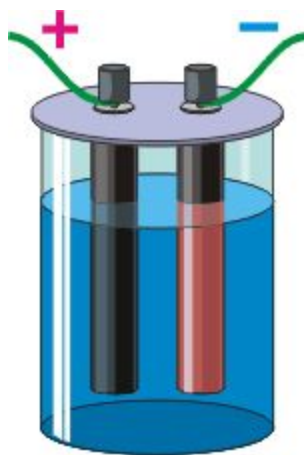
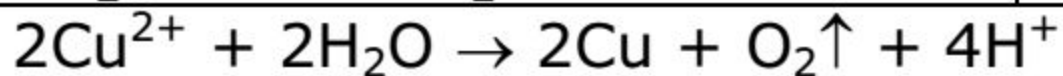
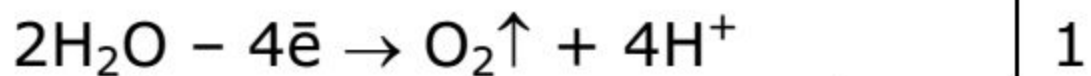
Анионы кислородсодержащих кислот не окисляются. Окисляются молекулы воды:  
$$2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$$

## Электролиз водных растворов

- **Пример 1.** Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$
- $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

K(-)  $\text{Cu}^{2+}, \text{H}_2\text{O}$

A(+)  $\text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{O}$

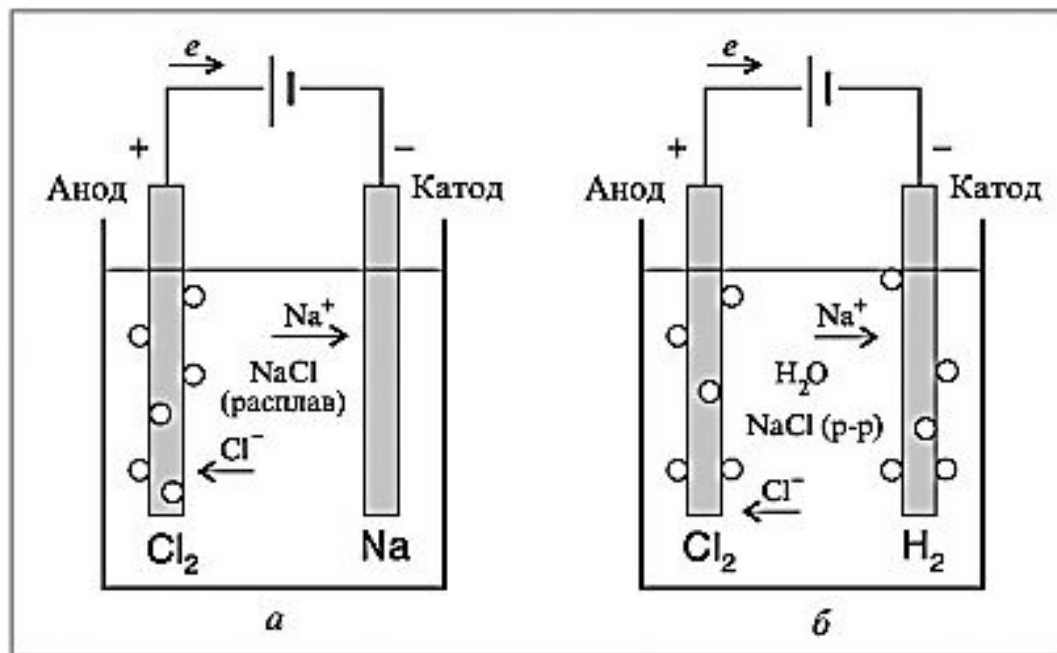
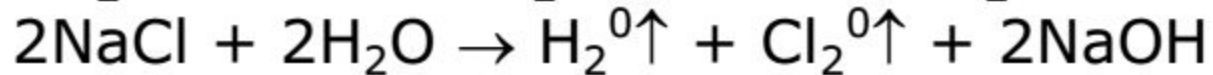
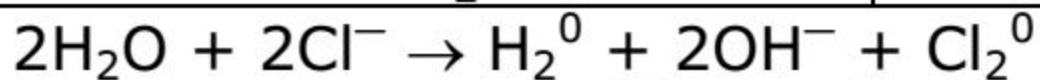
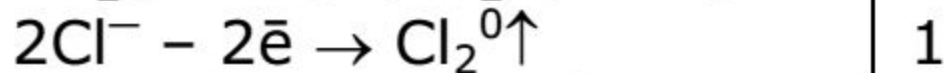
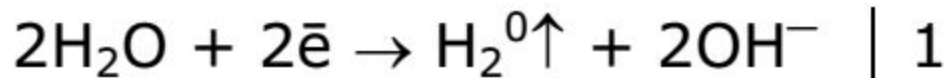


## Электролиз водных растворов

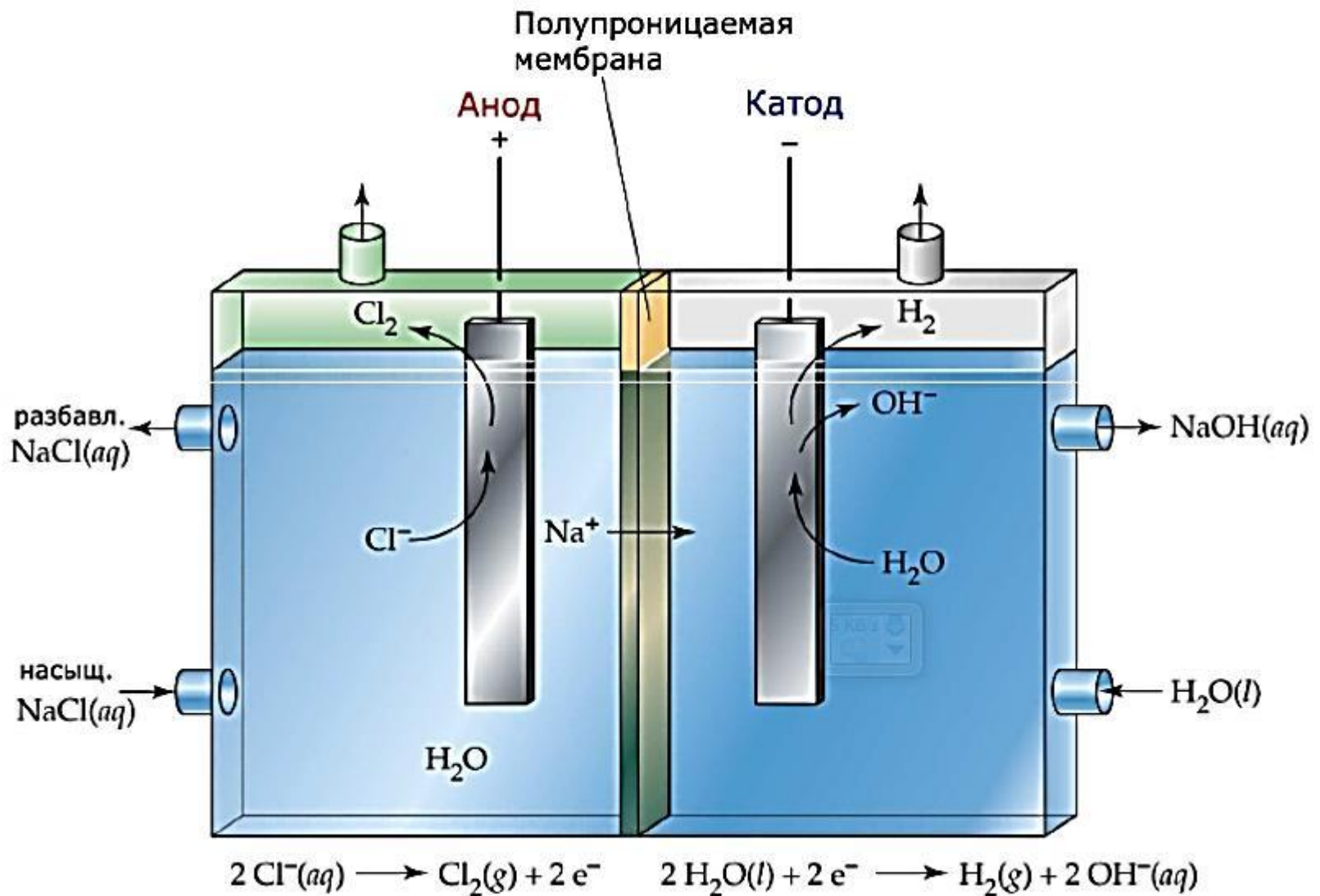
- **Пример 2.** Электролиз раствора NaCl
- $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

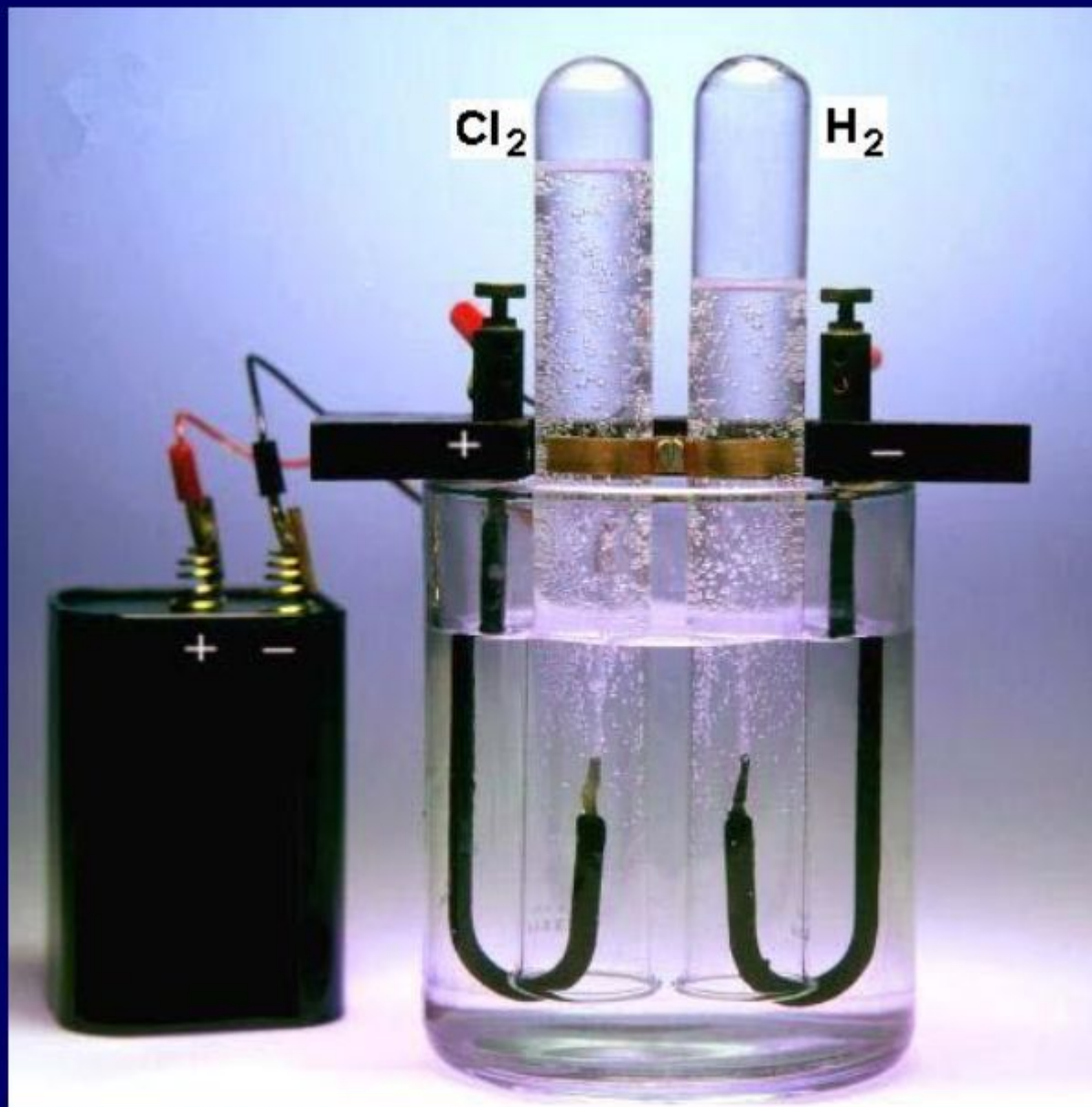
К(-)  $\text{Na}^+, \text{H}_2\text{O}$

А(+)  
 $\text{Cl}^-, \text{H}_2\text{O}$



# Электролиз водных растворов и расплавов солей

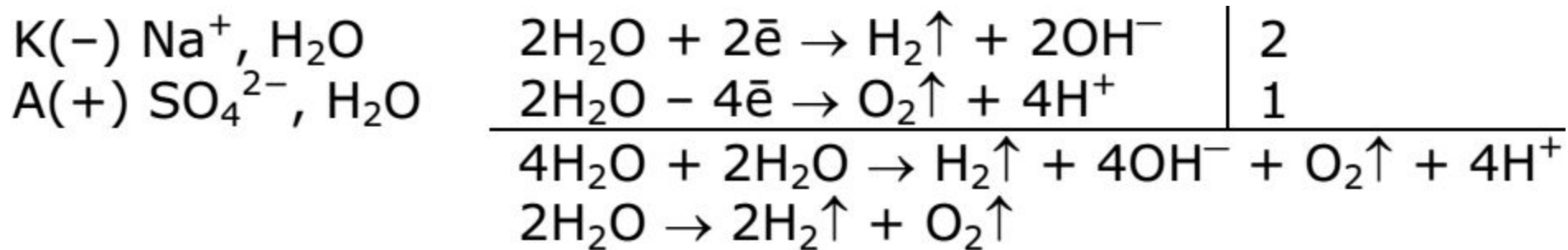




Электролиз раствора поваренной соли. Схема сбора газа

## Электролиз водных растворов и расплавов солей

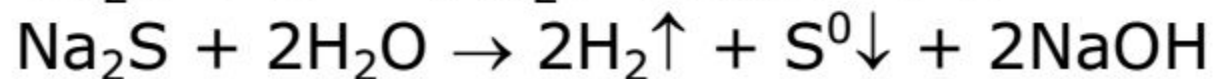
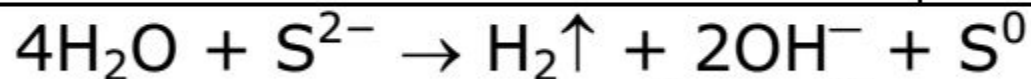
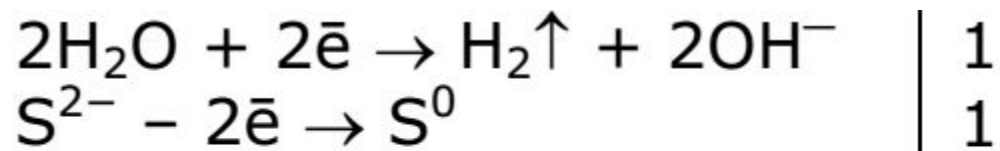
- **Пример 3.** Электролиз раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$



Электролиз водных растворов и расплавов солей

- **Пример 4.** Электролиз раствора  $\text{Na}_2\text{S}$
- $\text{Na}_2\text{S} \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{S}^{2-}$

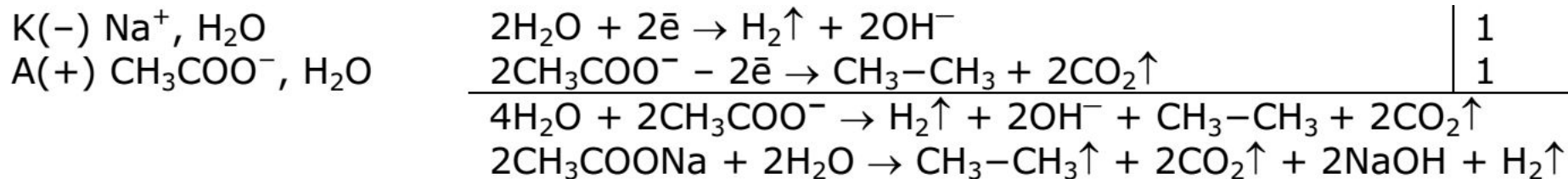
K(-)  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$   
 A(+)  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$





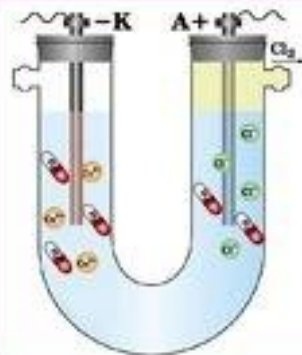
## Электролиз водных растворов и расплавов солей

- **Пример 5.** Электролиз раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$
- $\text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$



# ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ С УГОЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

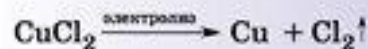
## Электролиз раствора хлорида меди (II)



Частицы в растворе:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$

Процесс на катоде:  $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}^0$

Процесс на аноде:  $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}_2^0 \uparrow$

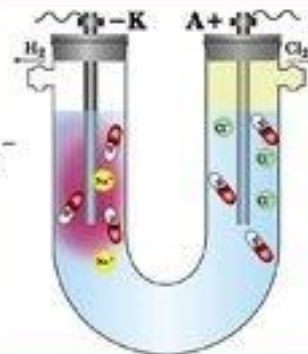
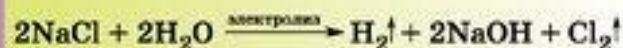


## Электролиз раствора хлорида натрия

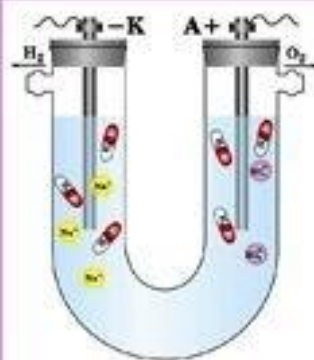
Частицы в растворе:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$

Процесс на катоде:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2^0 \uparrow + 2\text{OH}^-$

Процесс на аноде:  $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}_2^0 \uparrow$



## Электролиз раствора сульфата натрия



Частицы в растворе:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

Процесс на катоде:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2^0 \uparrow + 2\text{OH}^-$

Процесс на аноде:  $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2^0 \uparrow + 4\text{H}^+$

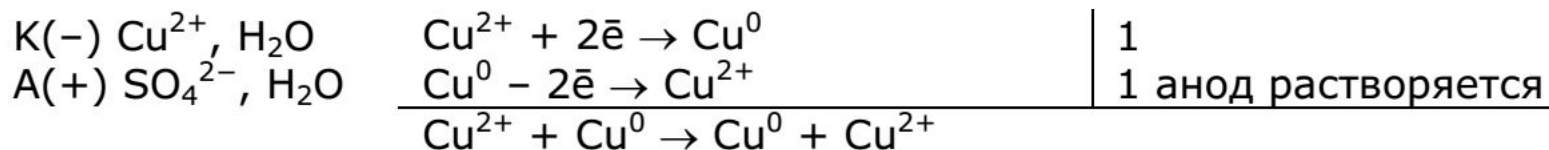
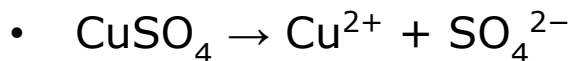


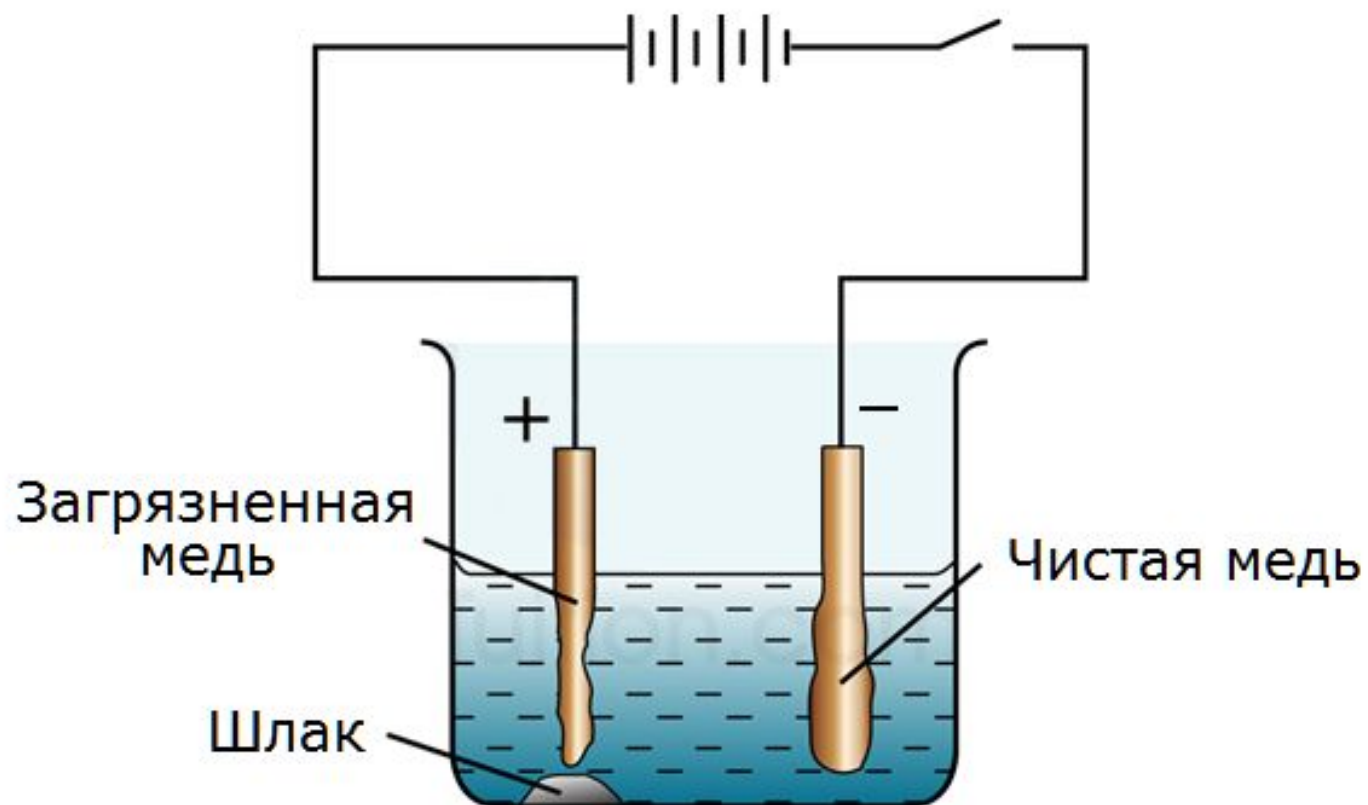
## Электролиз водных растворов

- Растворимый анод при электролизе сам подвергается окислению, т.е. направляет электроны во внешний круг. При отдаче электронов смещается равновесие между электродом и раствором и электрод растворяется:



- **Пример 4.** Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$  с использованием медного анода.





## Электролиз водных растворов

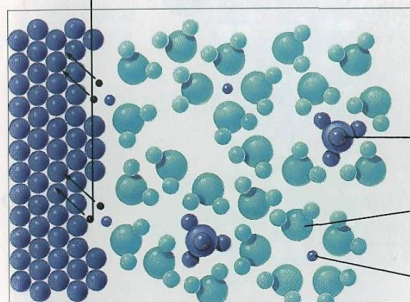
- **Использование электролиза**

- Окислительная и восстановительная способность электрического тока намного сильнее, чем у химических окислителей и восстановителей. Поэтому электролизом получают наиболее активные металлы (калий, натрий, кальций, магний, алюминий), и менее активные (цинк, медь, кадмий и т.д.). Восстановленные на катоде металлы характеризуются очень высокой чистотой. Применяют электролиз и для очистки некоторых металлов от примесей (электролитическое рафинирование), например меди, никеля, свинца, золота.
- Электролизом получают активные неметаллы (хлор, фтор) и такие важные соединения, как натрий гидроксид, калий гидроксид, калий хлорат, пероксид водорода.
  - Электролиз применяют также для нанесения защитных металлических покрытий на поверхности (**гальванопластика**) и изготовление копий рельефных поверхностей (**гальваностегия**, электрохимическая обработка). Например, хромирование деталей машин, золочение ювелирных изделий.
  - Электролизом сточных промышленных вод обеспечивается их очистка от катионов металлов-загрязнителей, которые восстанавливаются на катоде.



# Электролиз водных растворов и расплавов солей

Батарейка отнимает электроны у атомов медного анода, превращая их в ионы меди



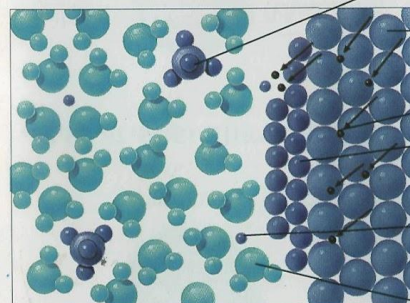
Сульфат-ионы,  $SO_4^{2-}$

Молекула воды

Ион меди,  $Cu^{2+}$

## НА АНОДЕ – МЕДНОЙ ТРУБКЕ

Положительный полюс батарейки отнимает электроны у атомов медного анода. Образующиеся при этом катионы меди (II) движутся через раствор к катоду.



Сульфат-ионы,  $SO_4^{2-}$

Атомы ключа

Электрон

Атом меди,  $Cu$

Ион меди,  $Cu^{2+}$

Молекула воды

## НА КАТОДЕ – ЛАТУННОМ КЛЮЧЕ

Ионы меди восстанавливаются до атомов меди и осаждаются на катоде – поверхности латунного ключа. После гальваностегии ключ покрыт тонким слоем меди.

## ГАЛЬВАНОСТЕГИЯ

### КЛЮЧ С МЕДНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Для получения гальванического покрытия тонкий слой одного металла осаждают на поверхности другого, служащего катодом в электролитической ячейке. Осаждаемый металл содержится в электролите в виде ионов. Здесь показано, как латунный ключ покрывают слоем меди. Ионы меди переходят в раствор с медного анода.

«Плюс» батарейки отнимает электроны у атомов медного анода

Зажим «крокодил»

Медная трубка – анод

На аноде  $Cu$  превращается в  $Cu^{2+} + 2e^-$

«Минус» батарейки направляет электроны к катоду – латунному ключу

Голубой раствор сульфата меди (II)

Ионы меди,  $Cu^{2+}$ , движутся к катоду

Батарейка на 4,5 В



ЛАТУННЫЙ КЛЮЧ



КЛЮЧ С МЕДНЫМ ПОКРЫТИЕМ

$Cu^{2+}$  из раствора и  $2e^-$  образуют на катоде металлическую медь

Катод латунный ключ

Стакан, 600 мл

Медное покрытие