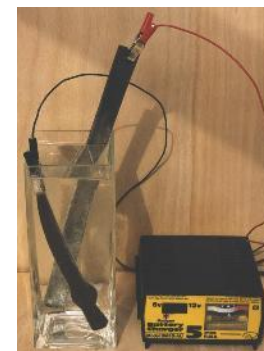
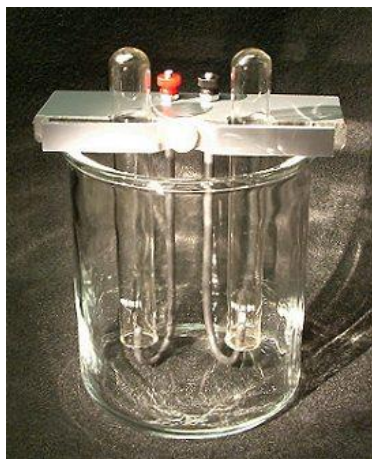
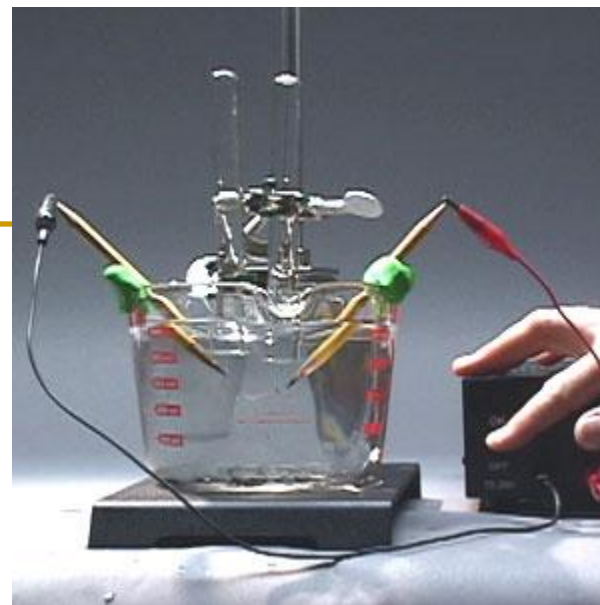

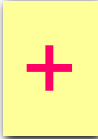


Лёвкин А.Н.

# Электролиз

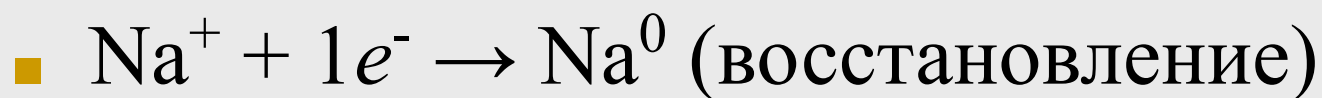


# Терминология

- **Электролиз** – совокупность ОВР, осуществляющихся на электродах при пропускании через раствор или расплав электролита постоянного электрического тока
- **Электрод** – система, состоящая из проводника I рода и проводника II рода
- **Катод**- восстановление 
- **Анод** - окисление 

# Электролиз расплавоВ

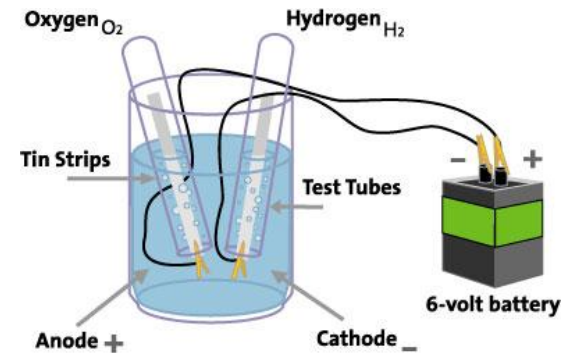
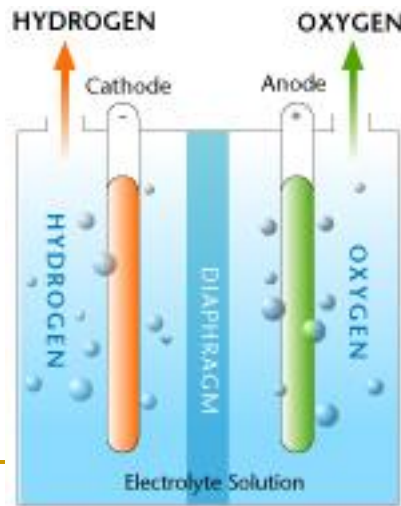
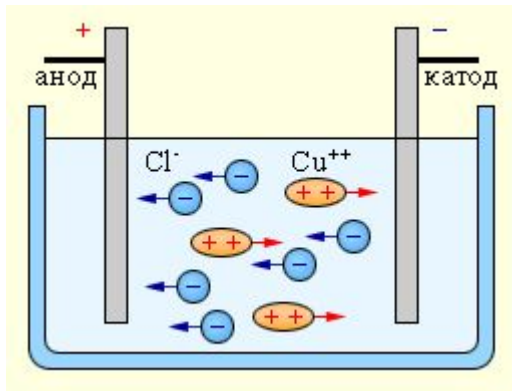
- **NaCl, расплав**



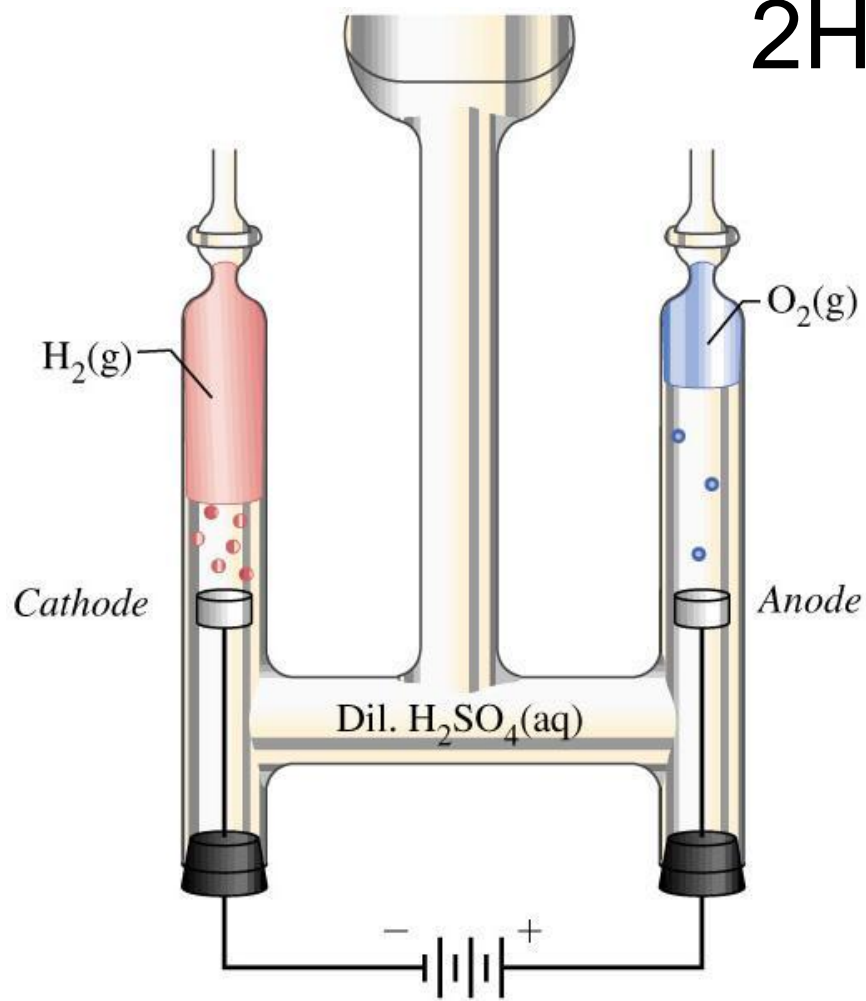
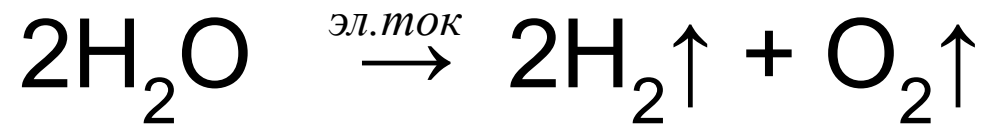
# Электролиз расплавоB

- NaCl, расплав
- $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$  (диссоциация на ионы)
- Катод(-):  $\text{Na}^+$
- $\text{Na}^+ + 1e^- \rightarrow \text{Na}^0$  (восстановление)
- Анод(+):  $\text{Cl}^-$
- $2\text{Cl}^- - 2e^- \rightarrow \text{Cl}_2^0$  (окисление)
- $2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{Na}^0 + \text{Cl}_2\uparrow$
- $2\text{NaCl} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{Na}^0 + \text{Cl}_2\uparrow$  (электролиз)

# Электролиз ВОДНЫХ растворов



# Электролиз воды

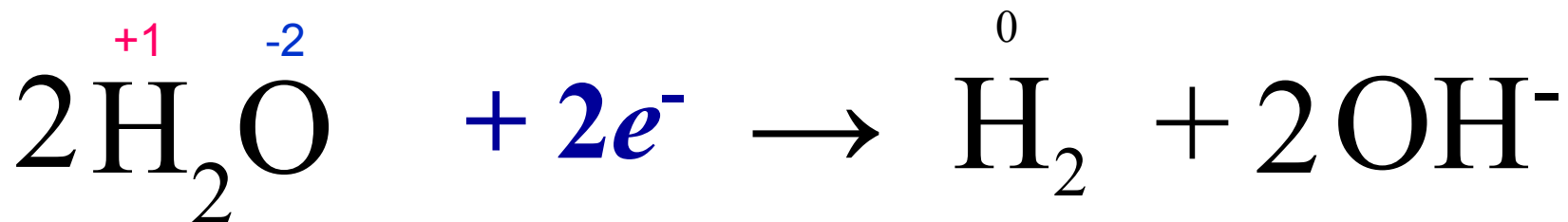


Анимация: электролиз  
воды

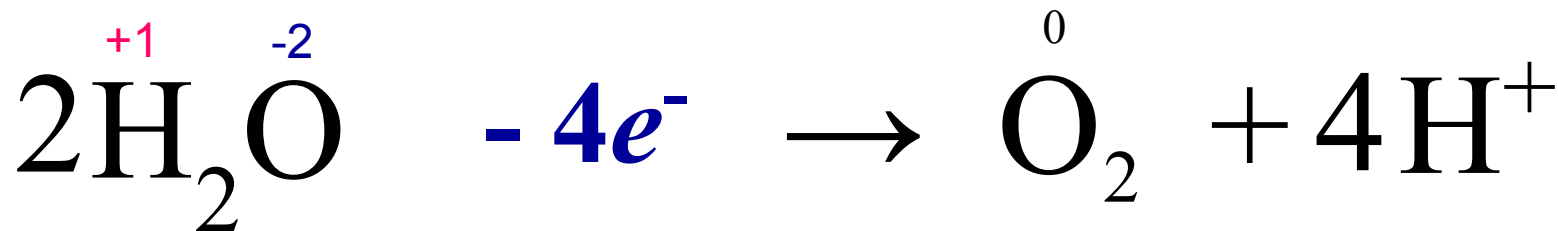
# Окисление и восстановление

## ВОДЫ на электродах

### Катод



### Анод



# Порядок восстановления на катоде

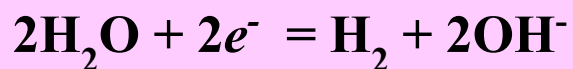
<b>Li</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>Cu</b>	<b>Ag</b>	<b>Au</b>
<b>Li<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>Mn<sup>2+</sup></b>	<b>Zn<sup>2+</sup></b>	<b>Fe<sup>2+</sup></b>	<b>H<sup>+</sup></b>	<b>Cu<sup>2+</sup></b>	<b>Ag<sup>+</sup></b>	<b>Au<sup>3+</sup></b>
<b>-3,04</b>	<b>-2,87</b>	<b>-2,71</b>	<b>-2,37</b>	<b>-1,66</b>	<b>-1,18</b>	<b>-0,76</b>	<b>-0,44</b>	<b>0,0</b>	<b>+0,34</b>	<b>+0,8</b>	<b>+1,5</b>

$E^\circ, \text{В}$

## Процесс

### восстановления

#### ВОДЫ



## Процесс восстановления

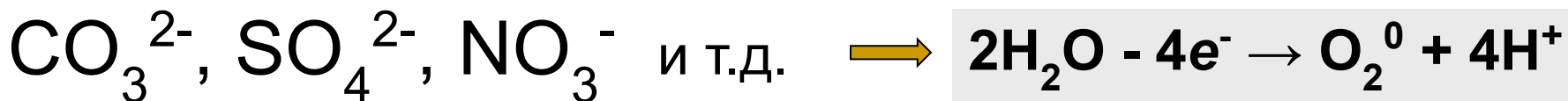
### металла





# Порядок окисления на аноде

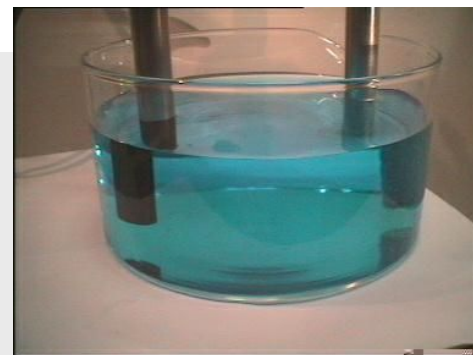
$S^0 + 2e^- \rightarrow S^{-2}$	<b>-0,48</b>	$X^{n-} - ne^- = X$
$I_2^0 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	<b>0,536</b>	
$Br_2^0 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	<b>1,065</b>	
$Cl_2^0 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	<b>1,359</b>	
$O_2^0 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	<b>1,228</b>	



$F^-$

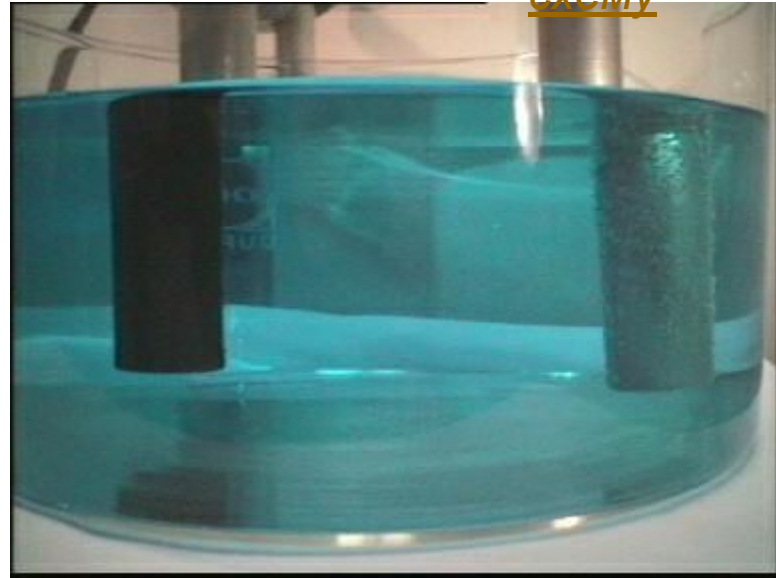
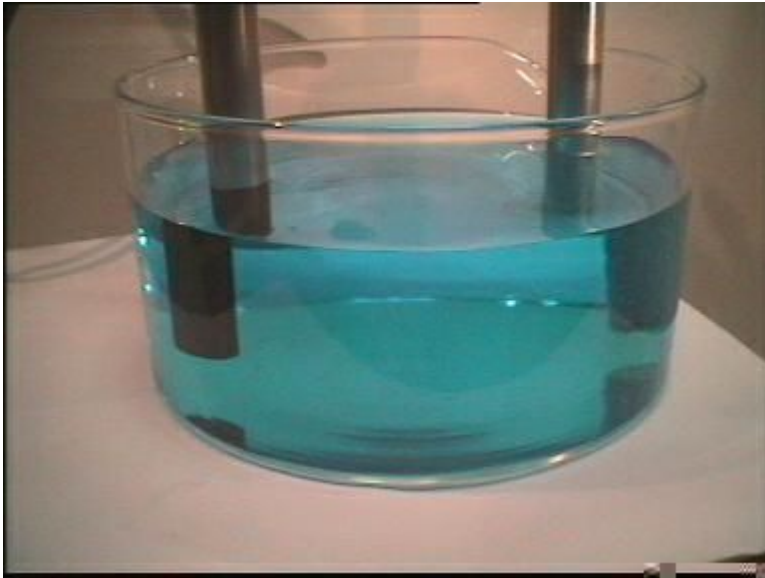
# Электролиз растворов солей (1).

- $\text{CuCl}_2$ , *раствор*
- $\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^-$  (ЭД)
- Катод(-):  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}^0$  (*восстановление*)
- Анод(+):  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{Cl}^- - 2e^- \rightarrow \text{Cl}_2^0$  (*окисление*)
- $\text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^- \xrightarrow{\text{эл.ток}} \text{Cu}^0 + \text{Cl}_2 \uparrow$
- $2\text{CuCl}_2 \xrightarrow{\text{эл.ток}} \text{Cu}^0 + \text{Cl}_2 \uparrow$  (*электролиз*)



# Электролиз $\text{CuCl}_2$

Посмотрите  
схему



# Электролиз растворов солей (2).

■  $\text{CuSO}_4$ , *раствор*

■  $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  (*ЭД*)

■ Катод:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

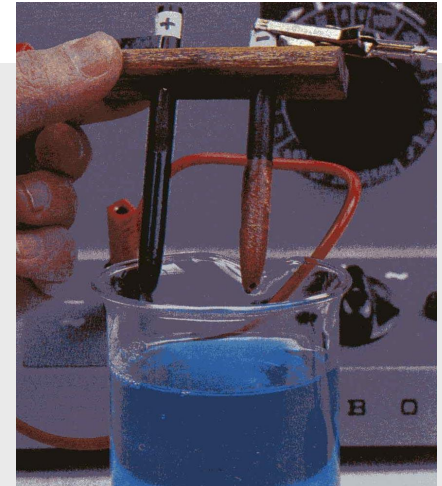
2 ■  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}^0$  (*восстановление*)

■ Анод:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

1 ■  $2\text{H}_2\text{O} - 4e^- \rightarrow \text{O}_2^0 + 4\text{H}^+$  (*окисление*)

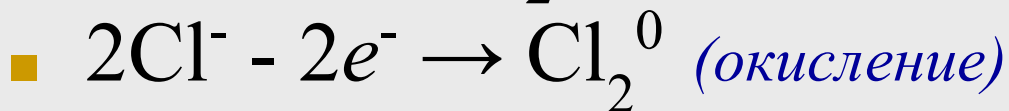
■  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2\text{Cu}^0 + \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$

■  $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2\text{Cu}^0 + \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4$   
(*электролиз*)



# Электролиз растворов солей (3).

- NaCl, раствор



# Электролиз растворов солей (4).

■  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , *раствор*

■  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$  (ЭД)

■ Катод:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

2 ■  $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$  (восстановление)

■ Анод:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

1 ■  $2\text{H}_2\text{O} - 4e^- \rightarrow \text{O}_2^0 + 4\text{H}^+$  (окисление)

■  $4\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2^0\uparrow + \text{O}_2\uparrow + 4\text{OH}^- + 4\text{H}^+$

■  $4\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2^0\uparrow + \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$

■  $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2^0\uparrow + \text{O}_2\uparrow$

# Электролиз растворов солей (4).

- $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , *раствор*
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$  (ЭД)
- Катод:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$  (восстановление)
- Анод:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{H}_2\text{O} - 4e^- \rightarrow \text{O}_2^0 + 4\text{H}^+$  (окисление)
- $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2\text{H}_2^0\uparrow + \text{O}_2\uparrow$

# Электролиз растворов

## кислородсодержащих кислот

■  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , *раствор*

■  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$  (ЭД)

■ Катод:  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

■  $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$  (*восстановление*)

■ Анод:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

■  $2\text{H}_2\text{O} - 4e^- \rightarrow \text{O}_2^0 + 4\text{H}^+$  (*окисление*)

■  $4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$

■  $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2^0 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$



# Электролиз растворов щелочей

- NaOH , *раствор*
- $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$  (ЭД)
- Катод:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$  (*восстановление*)
- Анод:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $4\text{OH}^- - 4e^- \rightarrow \text{O}_2^0 + 2\text{H}_2\text{O}$  (*окисление*)
- $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^- \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2\text{H}_2^0\uparrow + \text{O}_2\uparrow + 4\text{OH}^-$
- $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2\text{H}_2^0\uparrow + \text{O}_2\uparrow$

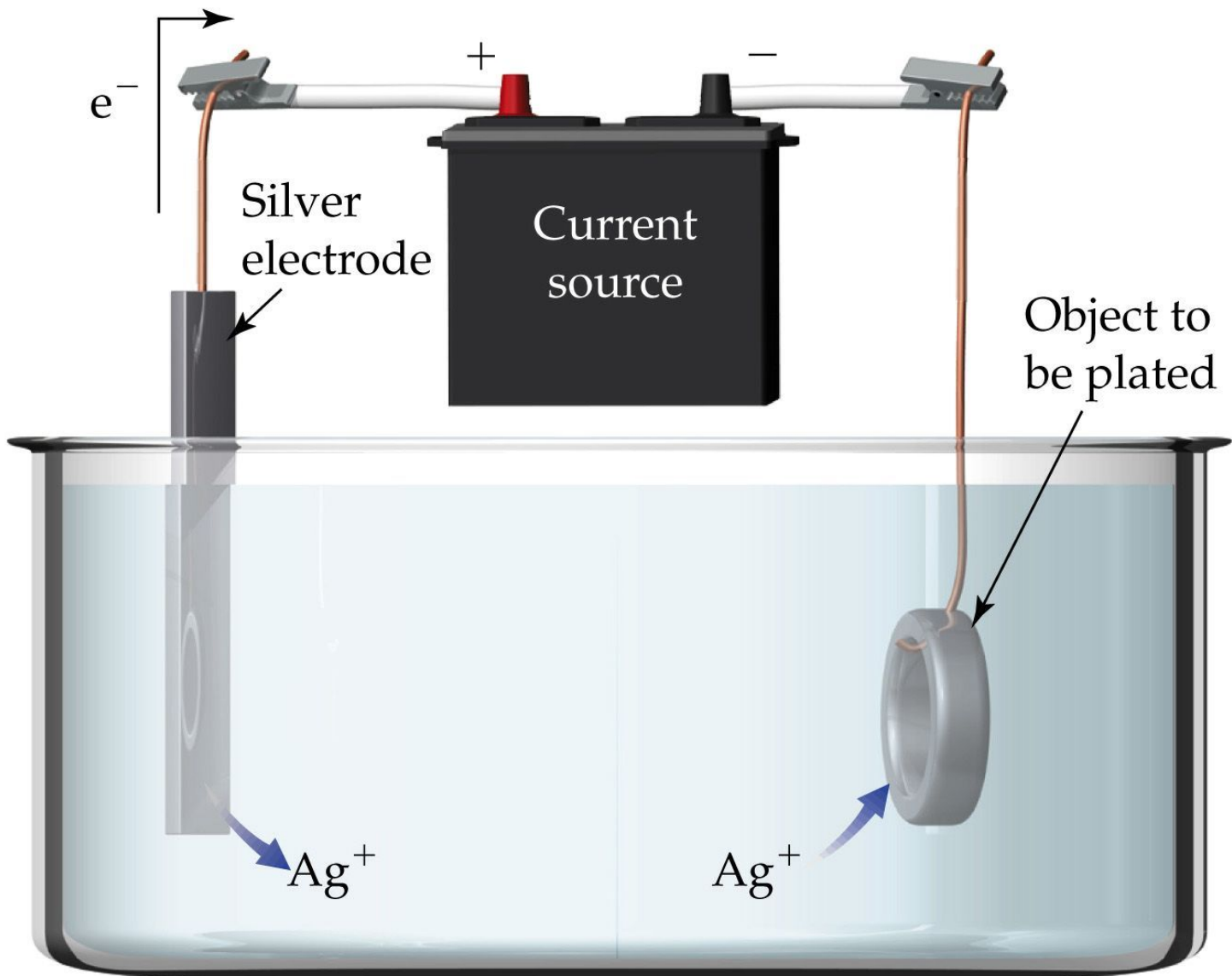
# Электролиз по Кольбе

- $\text{CH}_3\text{COONa}$  , *раствор*
- $\text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$  (ЭД)
- Катод:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$  (*восстановление*)
- Анод:  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{CH}_3\text{COO}^- - 2e^- \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_3 + 2\text{CO}_2\uparrow$   
(*окисление*)
- $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{CH}_3 + 2\text{CO}_2\uparrow$
- $2\text{CH}_3\text{COONa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{NaOH} + \text{CH}_3\text{CH}_3 + 2\text{CO}_2\uparrow$

# Электролиз с активным анодом

- $\text{NiSO}_4$ , *раствор*; анод - никель
- $\text{NiSO}_4 \rightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  (*ЭД*)
- Катод:  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}^0$  (*восстановление*)
- Анод:  $\text{Ni}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ni}^0 - 2e^- \rightarrow \text{Ni}^{2+}$  (*окисление*)

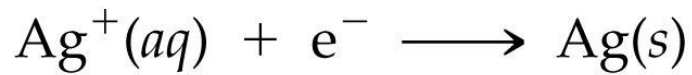
Электролитическое рафинирование никеля



Anode:



Cathode:



# Законы электролиза

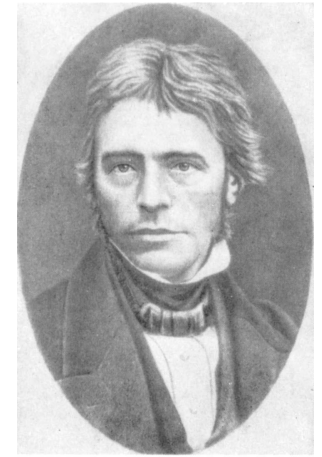
М. Фарадей, 1833-1836



Майкл Фарадей  
(1791-1867)

- 1. Для любого данного электродного процесса количество вещества, испытывающее превращение в данном электродном процессе, прямо пропорционально силе тока и времени его прохождения, то есть прямо пропорционально количеству прошедшего электричества

# Законы электролиза



$$m = \frac{\mathcal{E}IT}{F}$$

- 2. При прохождении одинакового количества электричества через растворы различных электролитов количества каждого из веществ, претерпевающие превращения, пропорциональны их химическим эквивалентам, причем для выделения 1 моль эквивалента любого вещества требуется **96 487 Кл.**

$$F \approx 96\,500 \text{ Кл} \quad F = N_A e^-$$

## Расчетные задачи по теме «Электролиз»

- Через 10%-ный раствор хлорида натрия массой 400 г пропустили постоянный электрический ток. Объем выделившихся на электродах газов составил 11,2 л (н.у.).

Вычислите:

- а) массовые доли веществ в растворе после реакции;
- б) долю разложившегося хлорида натрия.

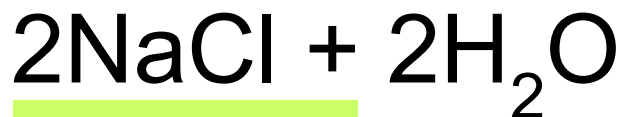
# Решение

$$m_{\text{р-ра}} = 400 \text{ г}$$

$$w = 0,1$$

$$m_{\text{в-ва}} = 40 \text{ г}$$

$$\nu = 0,5 \text{ моль}$$



$$M = 58,5 \text{ г/моль}$$

$$m = 29,25 \text{ г}$$



$$M = 40 \text{ г/моль}$$

$$m = 20 \text{ г}$$

$$\nu = 0,5 \text{ моль}$$



$$M = 71 \text{ г/моль}$$

$$m = 17,75 \text{ г}$$

$$M = 2 \text{ г/моль}$$

$$m = 0,5 \text{ г}$$

$$V = 11,2 \text{ л}$$

$$\nu = 0,5 \text{ моль}$$

$$0,25 \text{ моль}$$

$$0,25 \text{ моль}$$

$$w(\text{NaOH}) = \frac{20}{400 - 17,75 - 0,5} = \frac{20}{381,75} = 0,052$$

$$5,2\%$$

$$w(\text{NaCl}) = \frac{400 \cdot 0,1 - 29,25}{400 - 17,75 - 0,5} = \frac{10,75}{381,75} = 0,028$$

$$0,28\%$$



## Решение (продолжение)



$$w_{\text{разл}}(\text{NaCl}) = \frac{10,75}{40} \approx 0,27$$

Ответ:  $w(\text{NaOH}) = 5,2\%$

$w(\text{NaCl}) = 0,26\%$

$w_{\text{разл}} \approx 27\%$

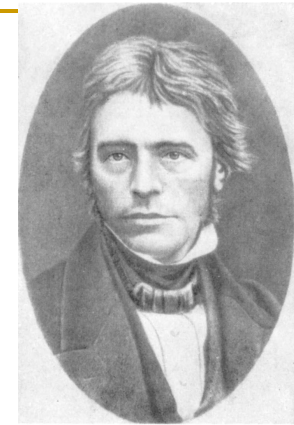
# Майкл Фарадей

(22.09.1791 – 25.08.1867)

- с 1813 г. работал в лаборатории Г.Дэви
- 1813 – 1815 сопровождает Г. Дэви в Европе
- 1815-1818 – анализ известняка; влияние добавок на качество стали, 1816 – первая публикация.
- 1820 – получил  $C_2Cl_6$ ,  $C_2Cl_4$
- 1821 – изучение взаимодействия электричества с магнитным полем
- 1823 – получен жидкие  $Cl_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $NO_2$ ,  $AsH_3$ ,  $HI$ ,  $HBr$ ,  $PH_3$ ,  $C_2H_4$
- 1825 – получил бензол
- 1825 пытался синтезировать  $NH_3$  из  $N_2$  и  $H_2$
- 1826 - получил нафталинсульфоокислоты и приготовил их 15 солей
- 1826 – начало исследований натурального каучука



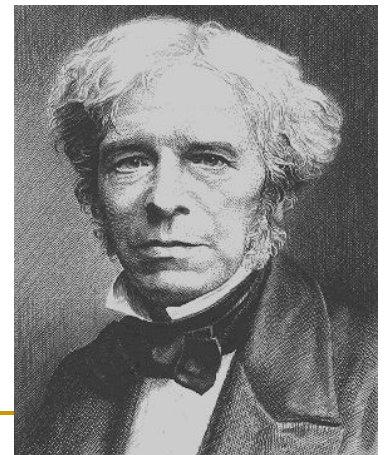
Гемфри Дэви



Майкл Фарадей

# Майкл Фарадей

- 1825 директор лаборатории Королевского общества, с 1827 г. – профессор.
- 1828 – получил этилсерную кислоту
- 1824 – 1830 – улучшение качества оптических стекол. Получил тяжелое боросиликатное «фарадеевское» стекло
- **1831 – Открыл электромагнитную индукцию!!**
- 1832 – Почетный доктор Оксфордского университета
- **1833 – 1836 – установил законы электролиза**
- 1835 – изучение диэлектриков, определил диэлектрические постоянные
- 1835-1845 гг. период болезни
- 1851 г. «Физический характер магнитных силовых линий»
- 1861 г. «История свечи»



---

**Спасибо  
за внимание!**

