



**МИРЭА – Российский Технологический Университет**  
**Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова**  
**Кафедра неорганической химии им. А.Н. Реформатского**

# **«ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ»**

## **В КАРМАНЕ**

**(химические источники тока)**

**Лектор: доц., к.х.н. Дорохов Андрей Викторович**

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ В НАШЕЙ ЖИЗНИ



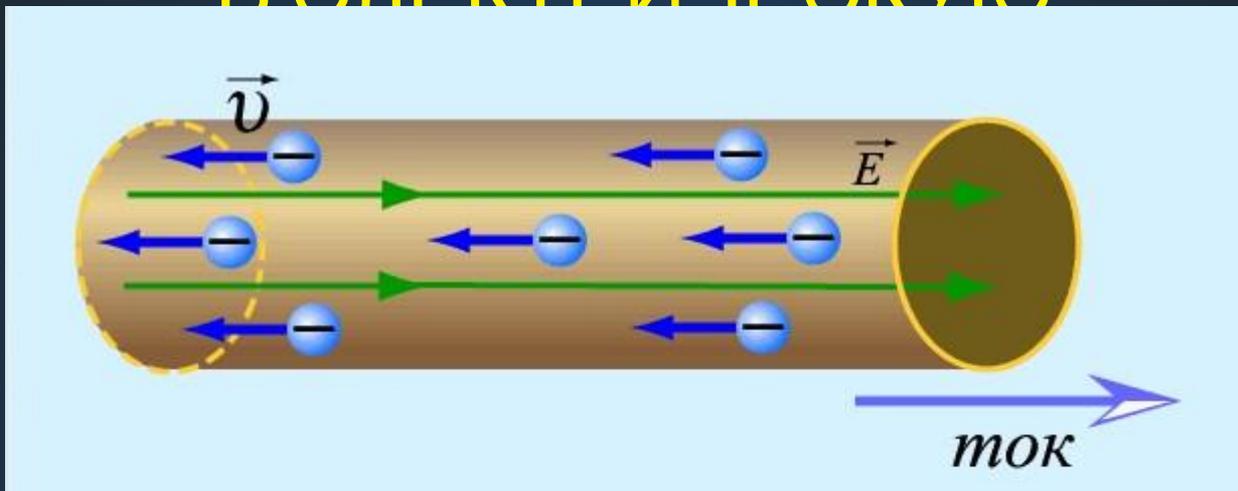
# ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



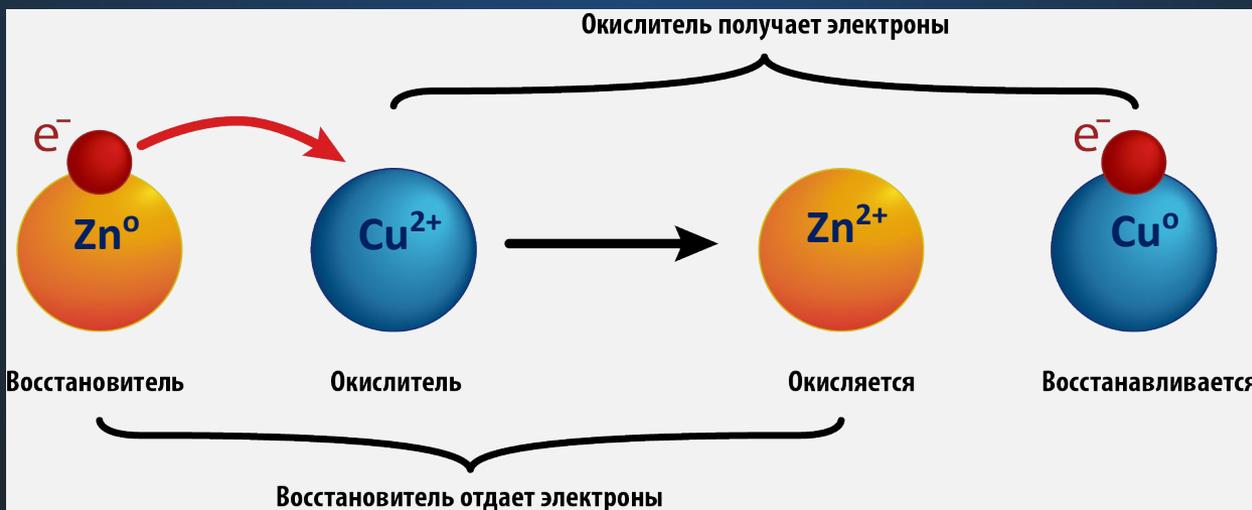
# ПОРТАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



# ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

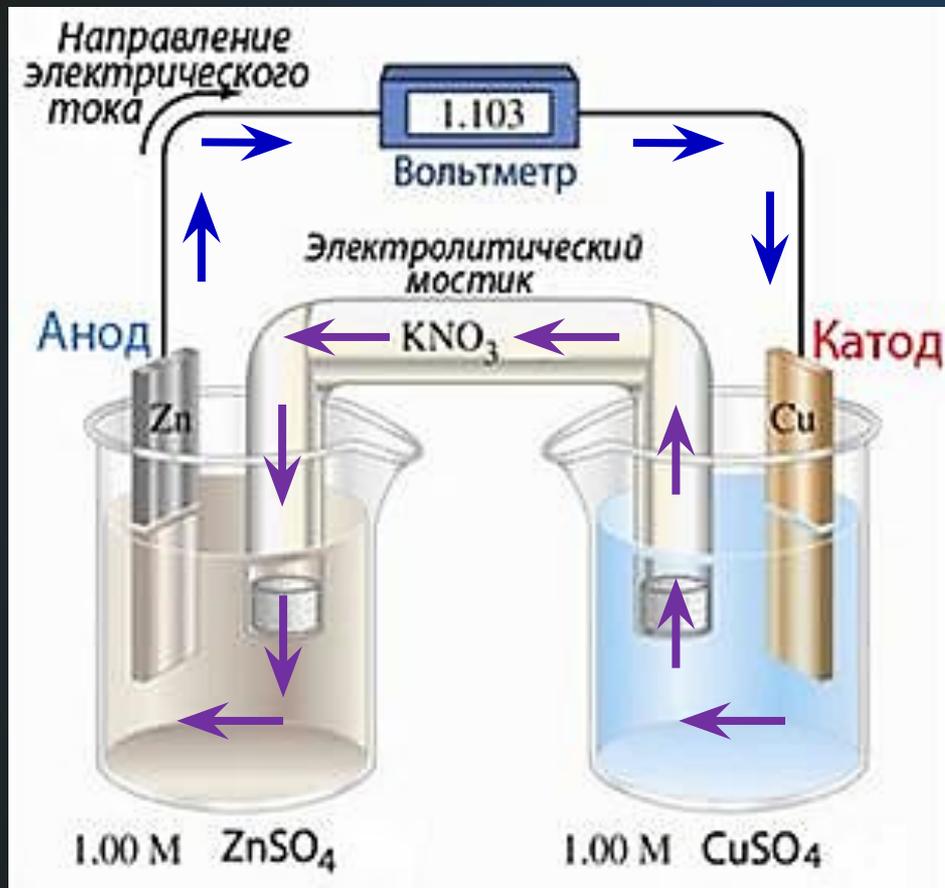


Электрический ток – направленное движение электронов



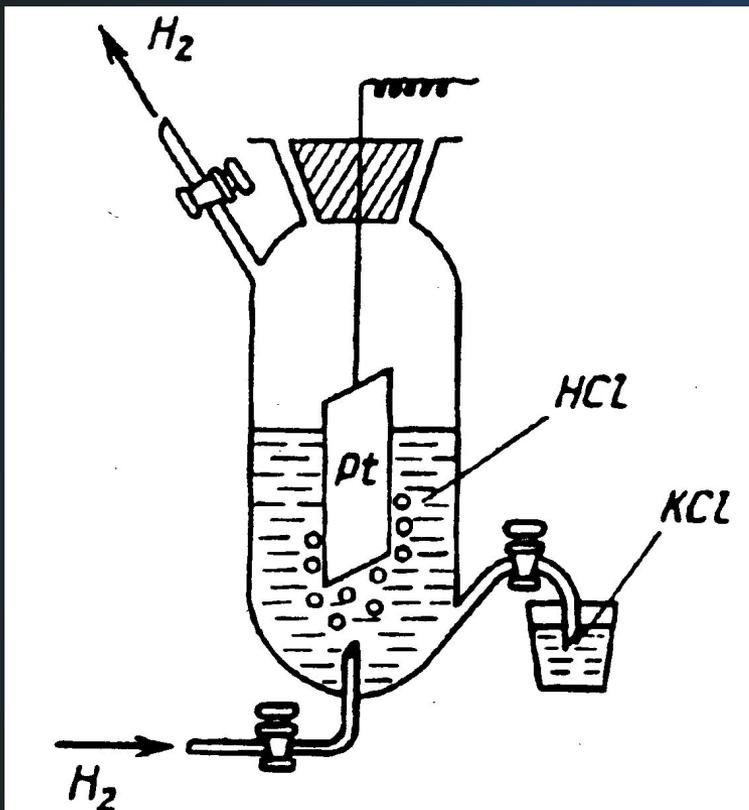
ОВР – передача электронов окислителю от восстановителя

# ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

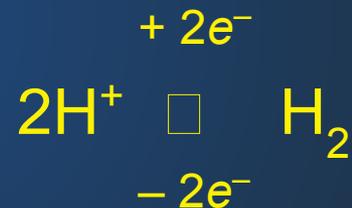


$\text{ЭДС} = E_{\text{н}} - E_{\text{л}} = E(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 0.34 + 0.76 = 1.1 \text{ В}$

# Стандартный водородный электрод (СВЭ)



Платиновый электрод, покрытый порошком Pt, в водном растворе кислоты с  $C(\text{H}^+) = 1$  моль/л, омываемый газообразным водородом ( $p = 1$  атм) при 298 К



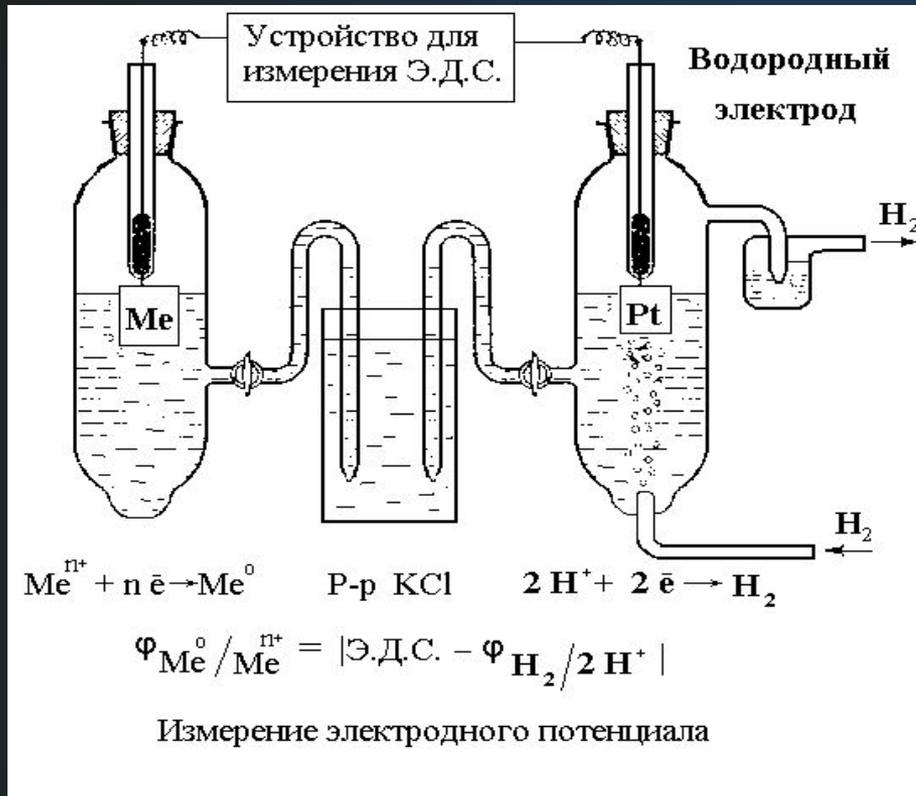
$$E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_2) = 0 \text{ В (условно!)}$$

Стандартные условия:

$p = 1$  атм.,  $C_i = 1$  моль/л

(25 °C = 298 К)

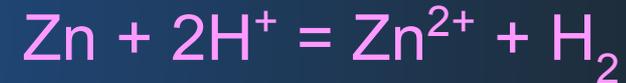
# ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ



**Анод (окисление):**



**Катод (восстановление):**



**Схема гальванического эл-та**



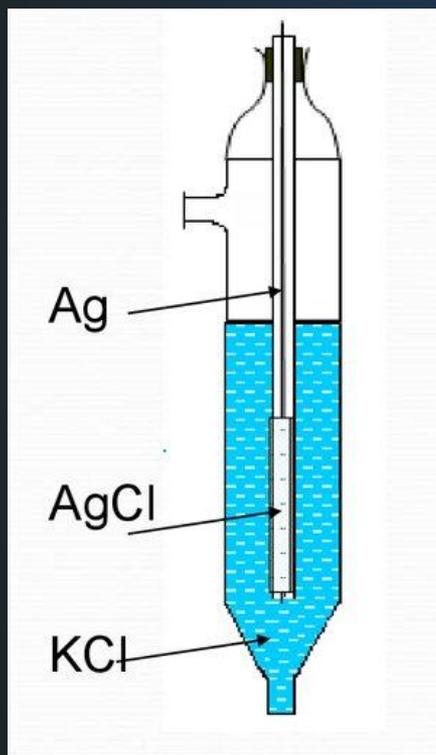
**ЭДС гальванического элемента:**

$$\mathcal{E} = \Delta E = E_{\text{п}} - E_{\text{л}} = E_{\text{кат}} - E_{\text{ан}} = E_{\text{ок}} - E_{\text{вс}} = E^0(\text{H}^+/\text{H}_2) - E^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})$$

$$E^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.76 \text{ В}$$

# Другие электроды сравнения

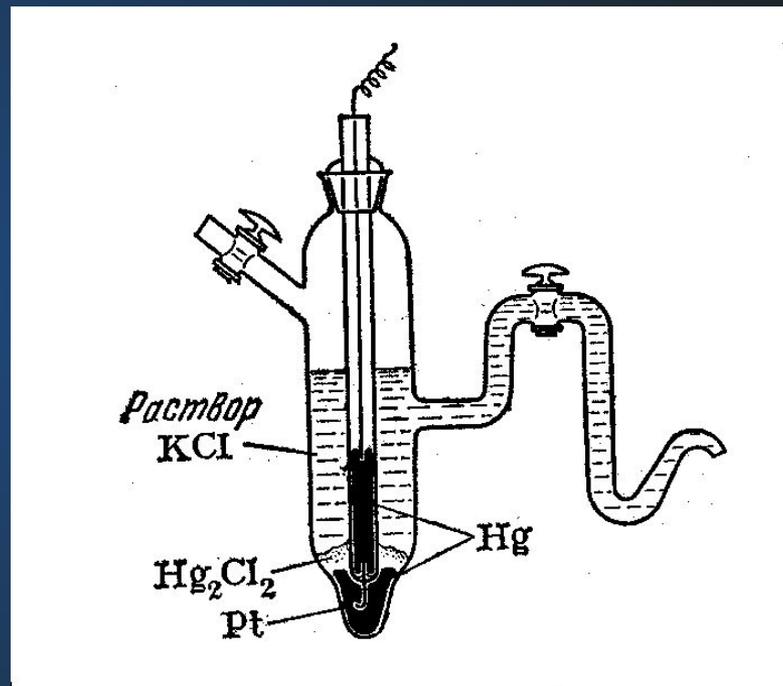
Хлоридсеребряный электрод



$$E^\circ (\text{AgCl}/\text{Ag}) = 0.222 \text{ В}$$



Каломельный электрод



$$E^\circ (\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg}) = 0.241 \text{ В}$$

# ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Электрод	Электродная реакция	$E^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	$\text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{Li}$	-3,02
K <sup>+</sup> /K	$\text{K}^+ + e^- \rightarrow \text{K}$	-2,92
Ca <sup>2+</sup> /Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ca}$	-2,87
Na <sup>+</sup> /Na	$\text{Na}^+ + e^- \rightarrow \text{Na}$	-2,71
Mg <sup>2+</sup> /Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Mg}$	-2,36
Be <sup>2+</sup> /Be	$\text{Be}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Be}$	-1,85

Электрод	Электродная реакция	$E^0$ , В
Sn <sup>2+</sup> /Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}$	-0,14
Pb <sup>2+</sup> /Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Pb}$	-0,13
2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	$2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$	+0,00
Bi <sup>3+</sup> /Bi	$\text{Bi}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Bi}$	+0,22
Cu <sup>2+</sup> /Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$	+0,34
O <sub>2</sub> /OH <sup>-</sup>	$\text{O}_2 + 4e^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^- (\text{pH } 14)$	+0,401

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pd Pt Au

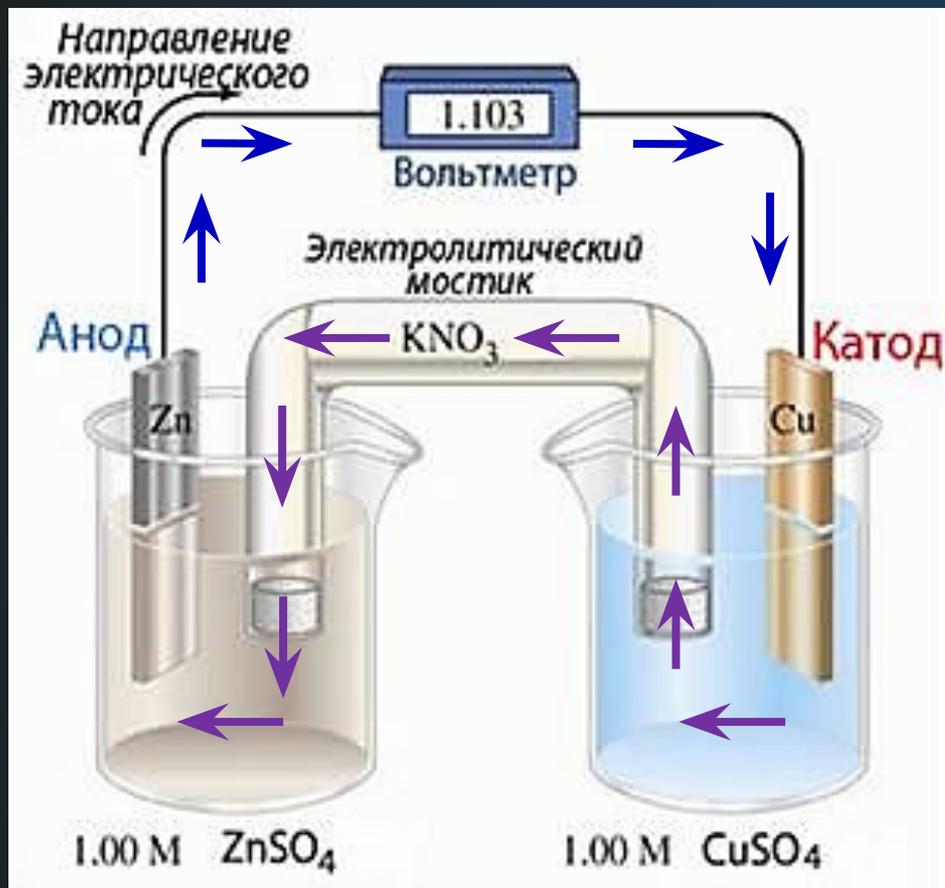
ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ

Cd <sup>2+</sup> /Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}$	-0,40
Co <sup>2+</sup> /Co	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Co}$	-0,28
Ni <sup>2+</sup> /Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,25

O <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> /2H <sub>2</sub> O	$\text{O}_2 + 4e^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} (\text{pH } 0)$	+1,23
Au <sup>3+</sup> /Au	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Au}$	+1,50
F <sub>2</sub> /F <sup>-</sup>	$\text{F}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{F}^-$	+2,87

# ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ДАНИЭЛЯ – ЯКОБИ

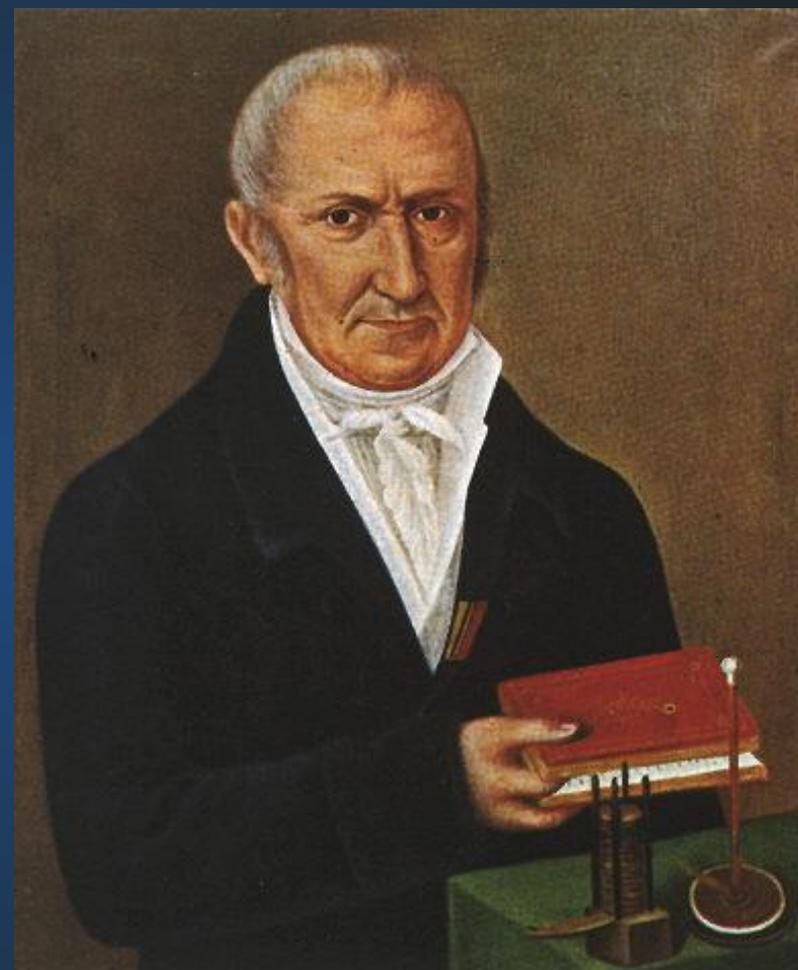


$\text{ЭДС} = E_{\text{н}} - E_{\text{л}} = E(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 0.34 + 0.76 = 1.1 \text{ В}$

# ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ДАНИЭЛЯ – ЯКОБИ

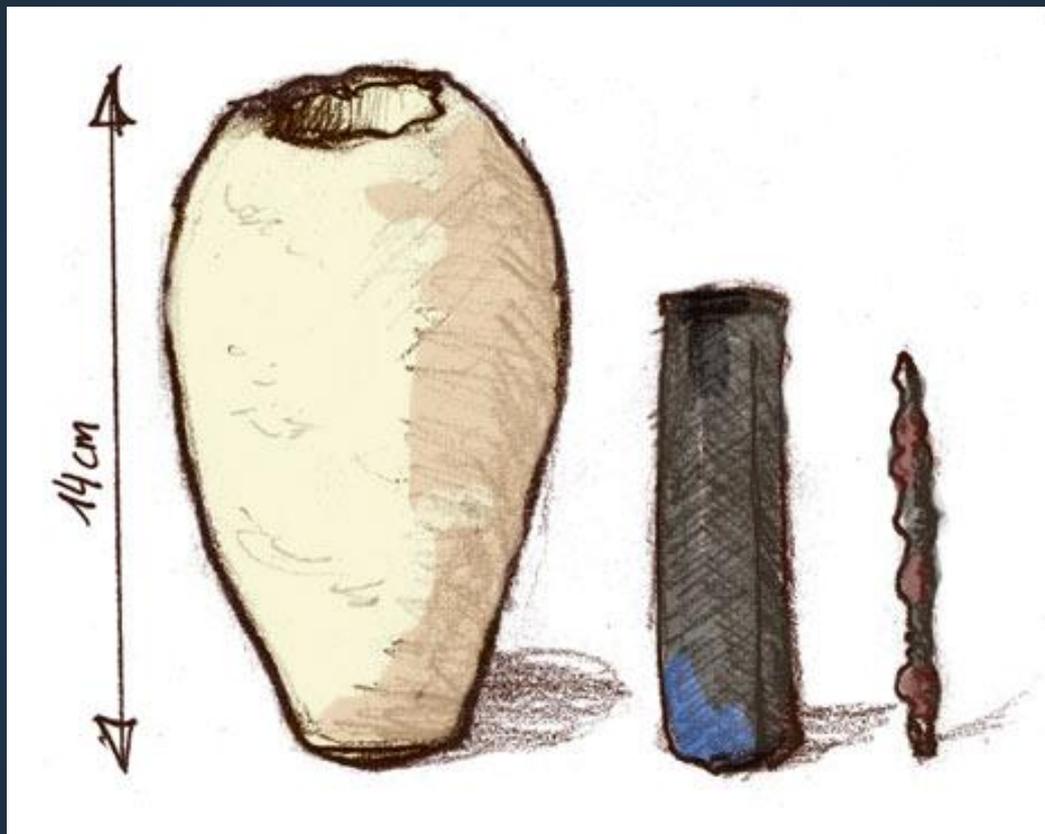


Вольтов столб  
Луиджи  
Гальвани  
(1737 – 1798)



Алессандро  
Вольт  
(1745 – 1827)

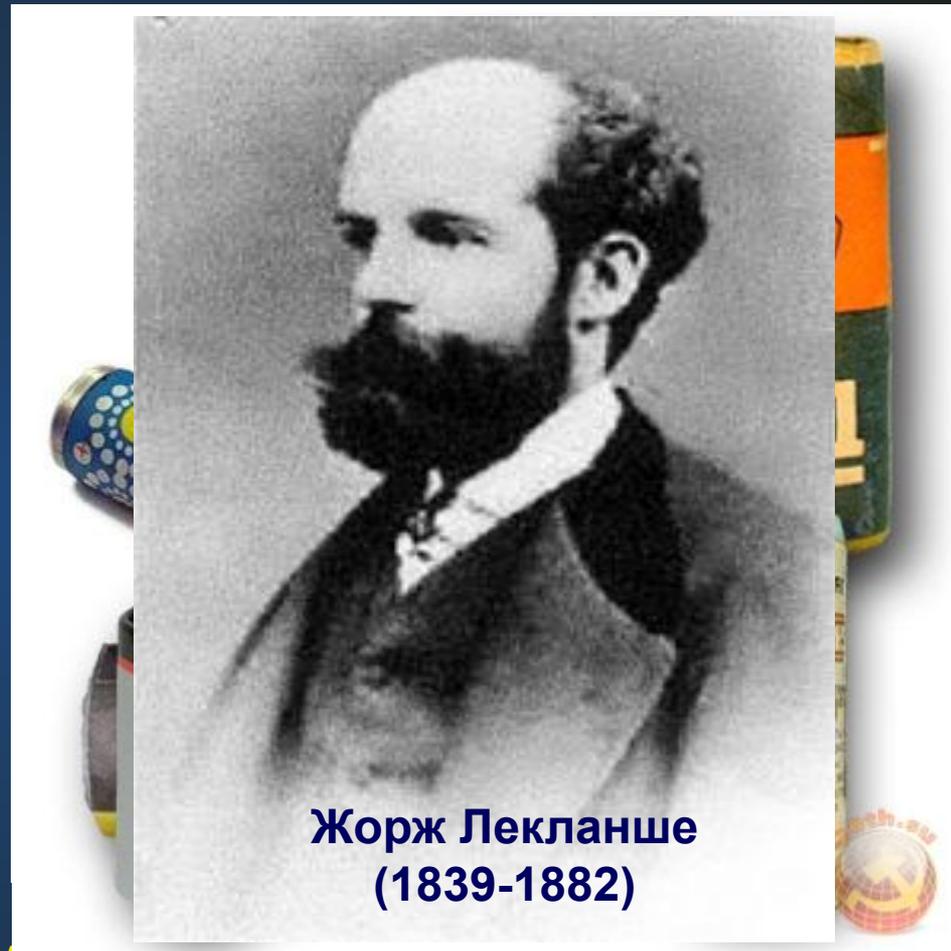
# ДРЕВНИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ?



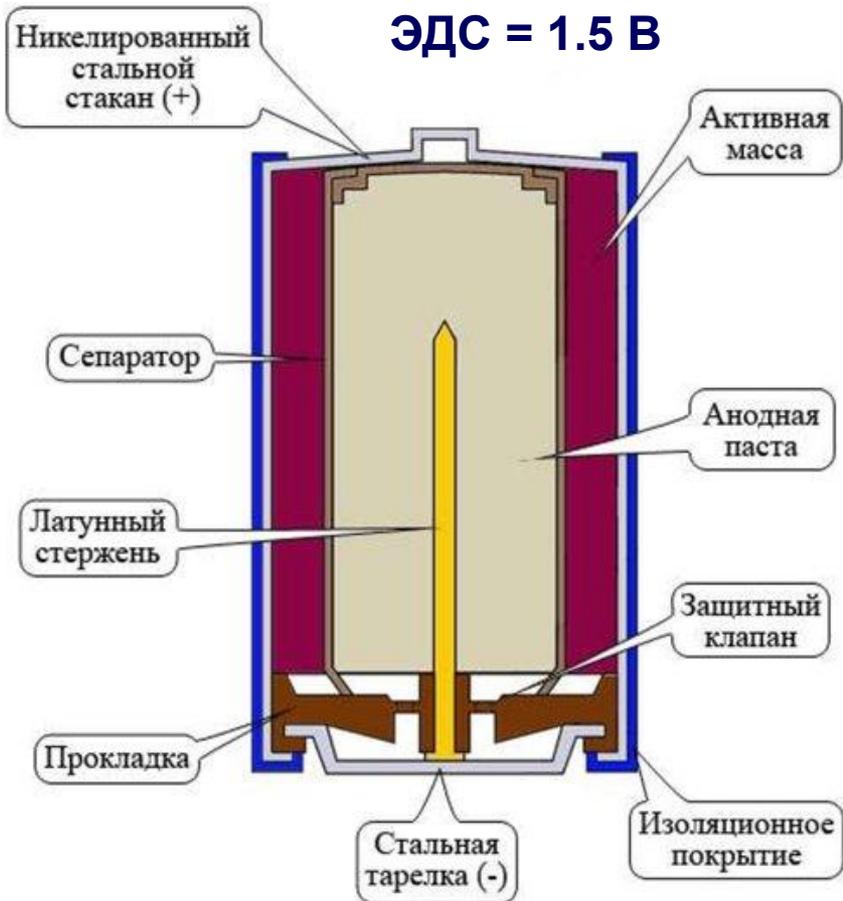
«Багдадская батарейка» (~ III в. до н.  
э.)



# МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ (элемент Лекланше, солевой элемент)



# ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕМЕНТ



## Преимущества:

- бóльшая ёмкость
- бóльший разрядный ток
- меньший саморазряд
- работа при низких температурах
- отсутствие расхода электролита
- меньше газовыделение

## Недостатки:

- большая масса
- более высокая цена



# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АККУМУЛЯТОРЫ

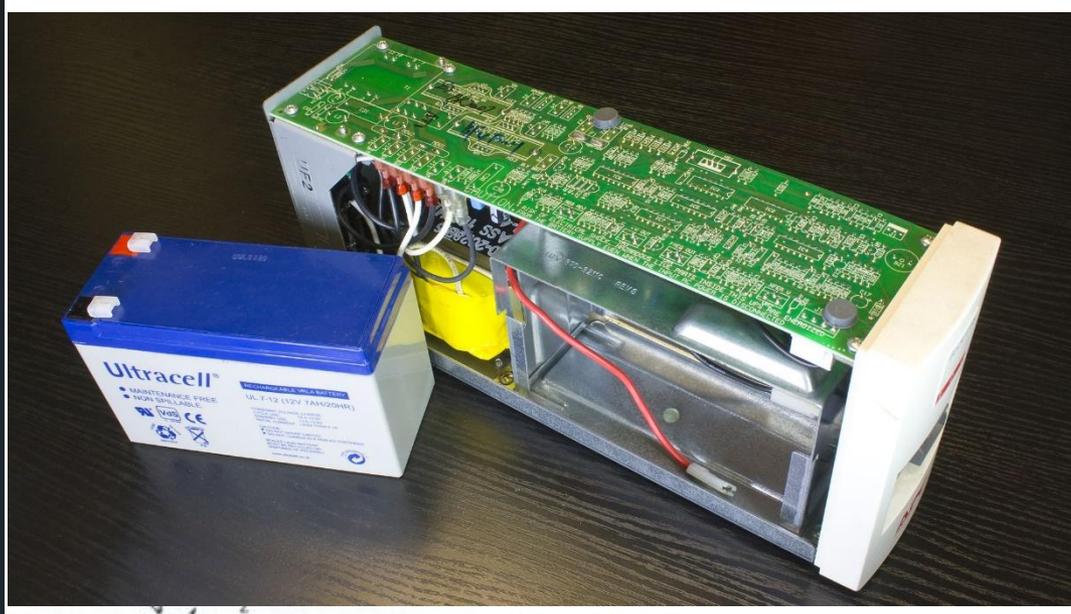
Электрический аккумулятор — химический источник тока многоразового действия.

Разряжение: как гальванический элемент (источник тока)

Заряжение: как электролизёр (обратный процесс)



# СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫЙ АККУМУЛЯТОР



Разряжение:  $\text{Pb} \mid \text{H}_2\text{SO}_4 \mid \text{PbO}_2, \text{Pb}$

анод (-):  $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} - 2e = \text{PbSO}_4$

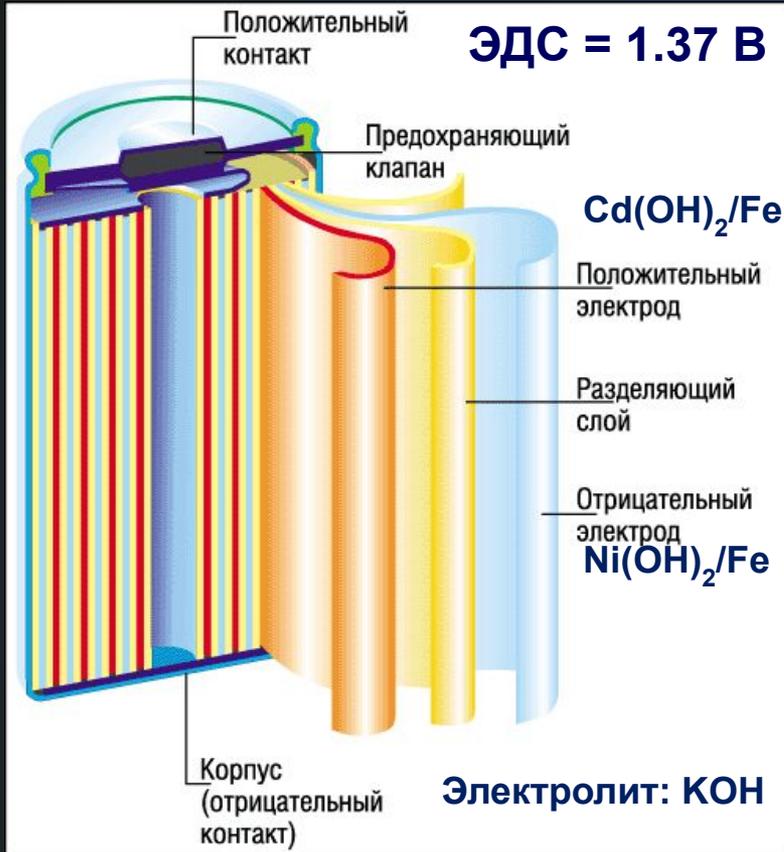
катод (+):  $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2e = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Заряжение:

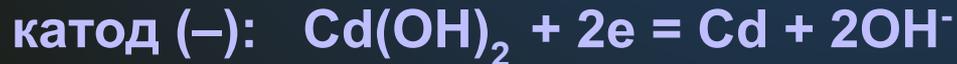
анод (+):  $\text{PbSO}_4 - 2e = \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$

катод (-):  $\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

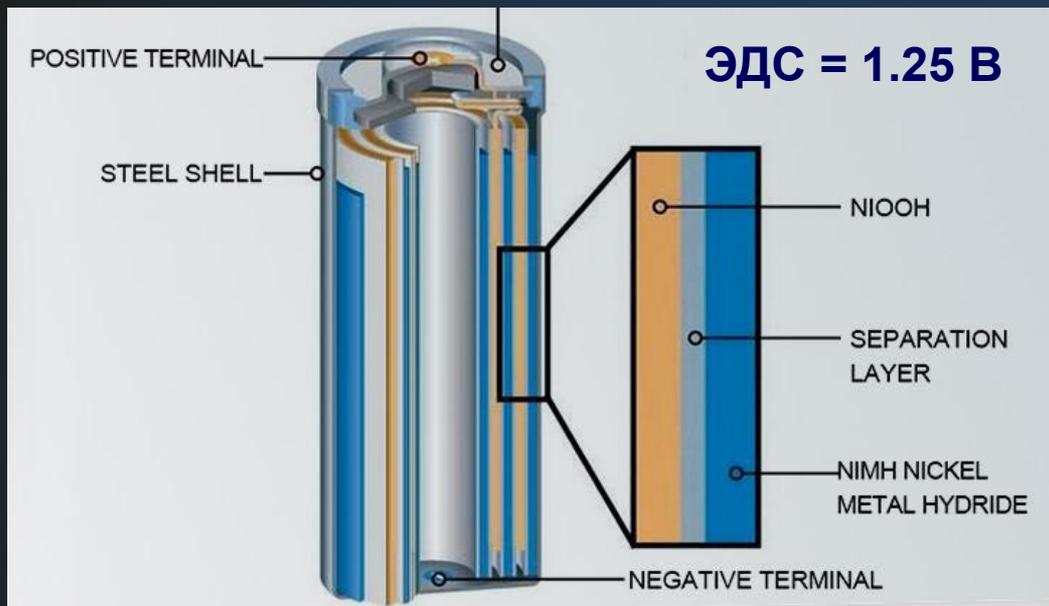
# Никель-кадмиевый аккумулятор



## Заряжение:



# Никель-металлгидридный аккумулятор



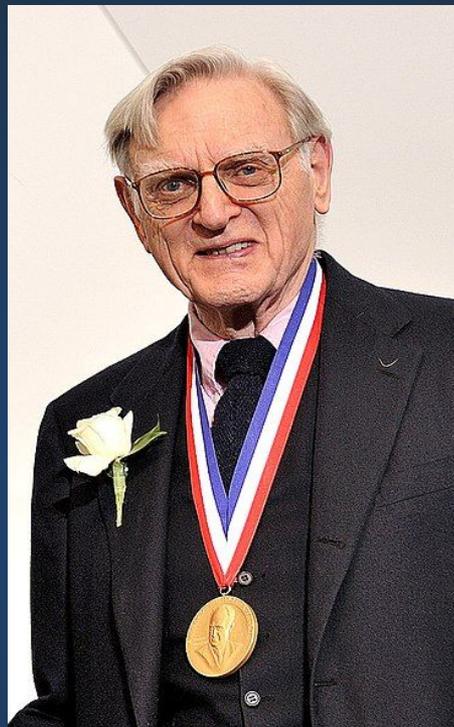
## Заряжение:



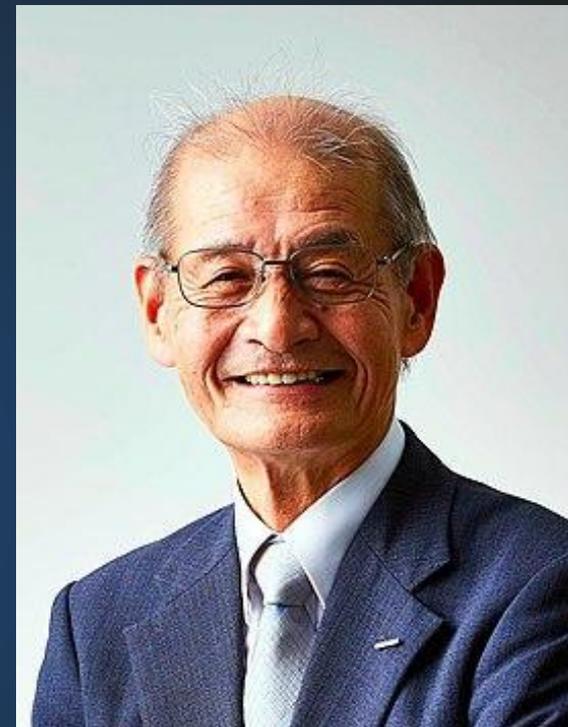
# ЛИТИЙ – ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ



Майкл Стэнли  
Уиттингем  
(1941 г.,  
Великобритания)



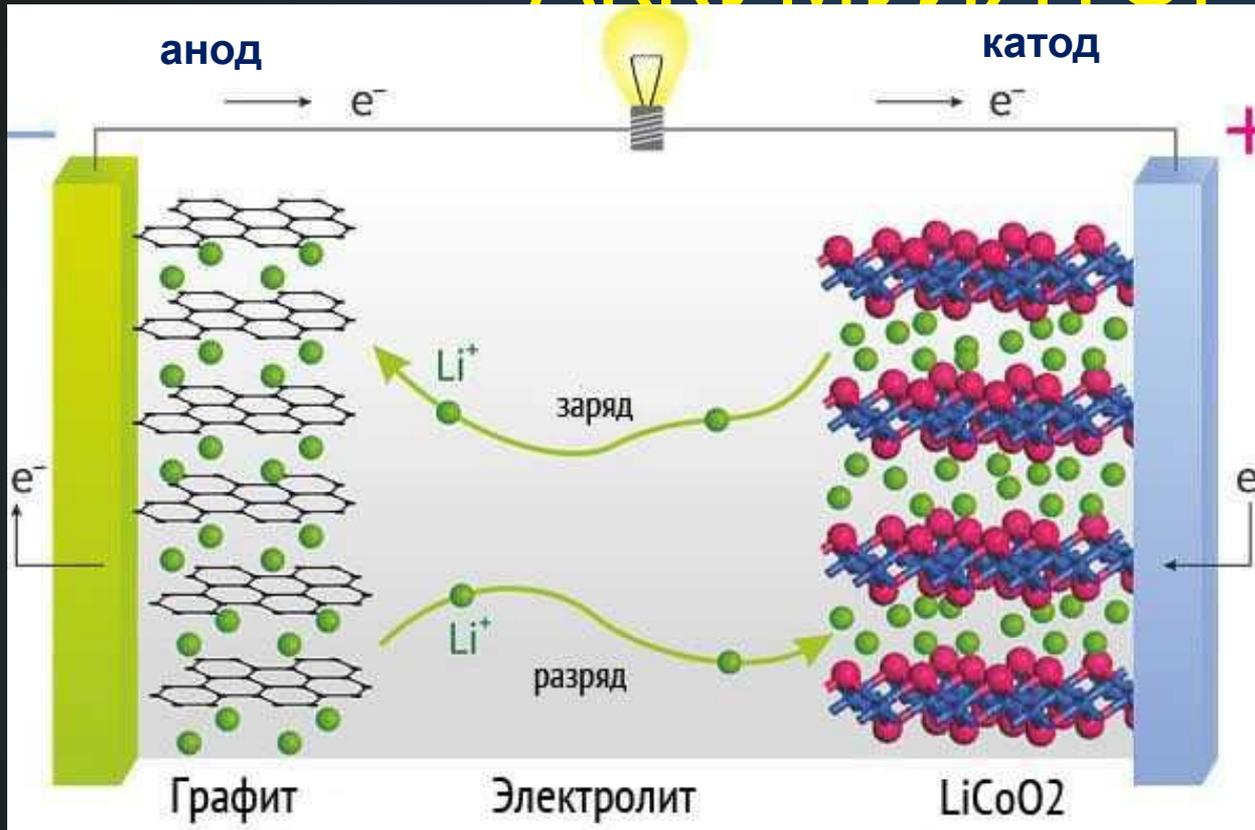
Джон  
Гуденаф  
(1922 г., США)



Акиро Ёсина  
(1922 г., США)

Нобелевская премия по химии 2019 г. «За  
совершенствование  
литий-ионных аккумуляторов

# ЛИТИЙ – ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ



литий-кобальтовые:  $\text{LiCoO}_2 + x\text{C}_6 \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{LiC}_6$

2.5-4.2 В, 500 циклов заряд-разряд, 250 Вт·ч/кг

литий-ферро-фосфатные:  $\text{LiFePO}_4 + x\text{C}_6 \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + x\text{LiC}_6$

# ЛИТИЙ – ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

