



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



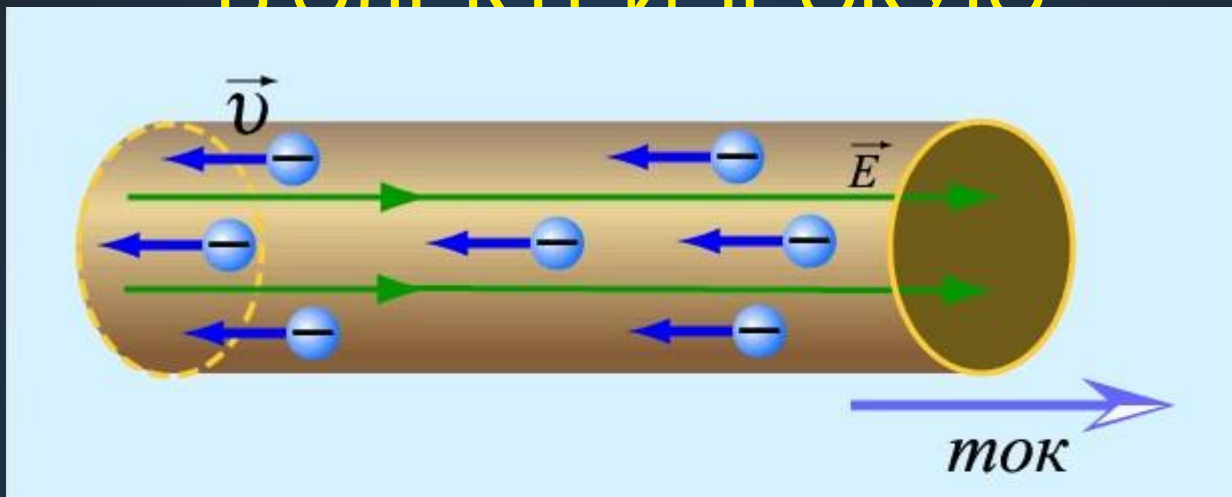
ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



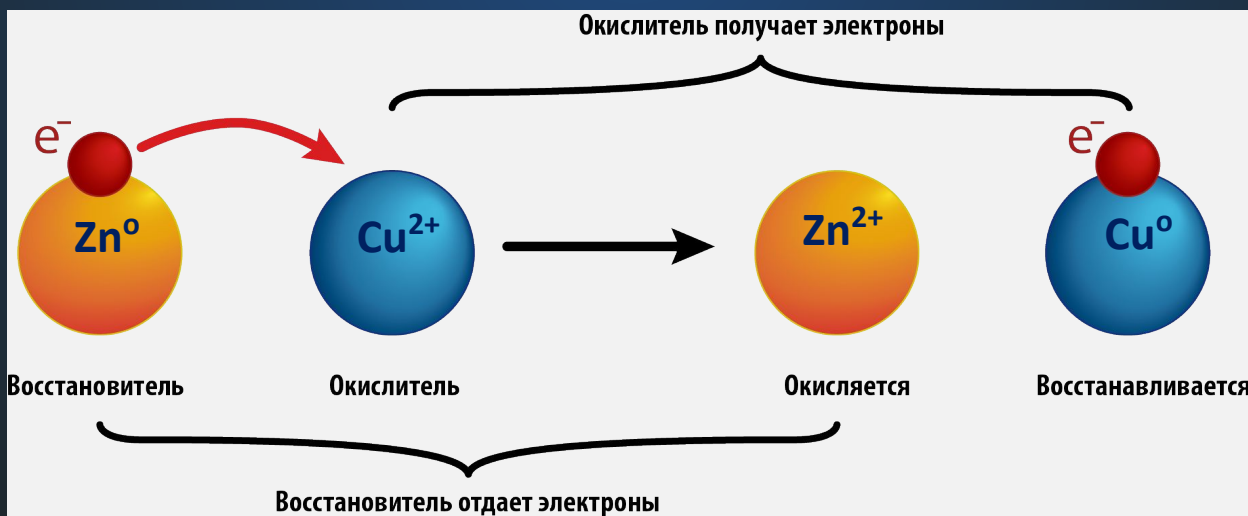
ПОРТАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

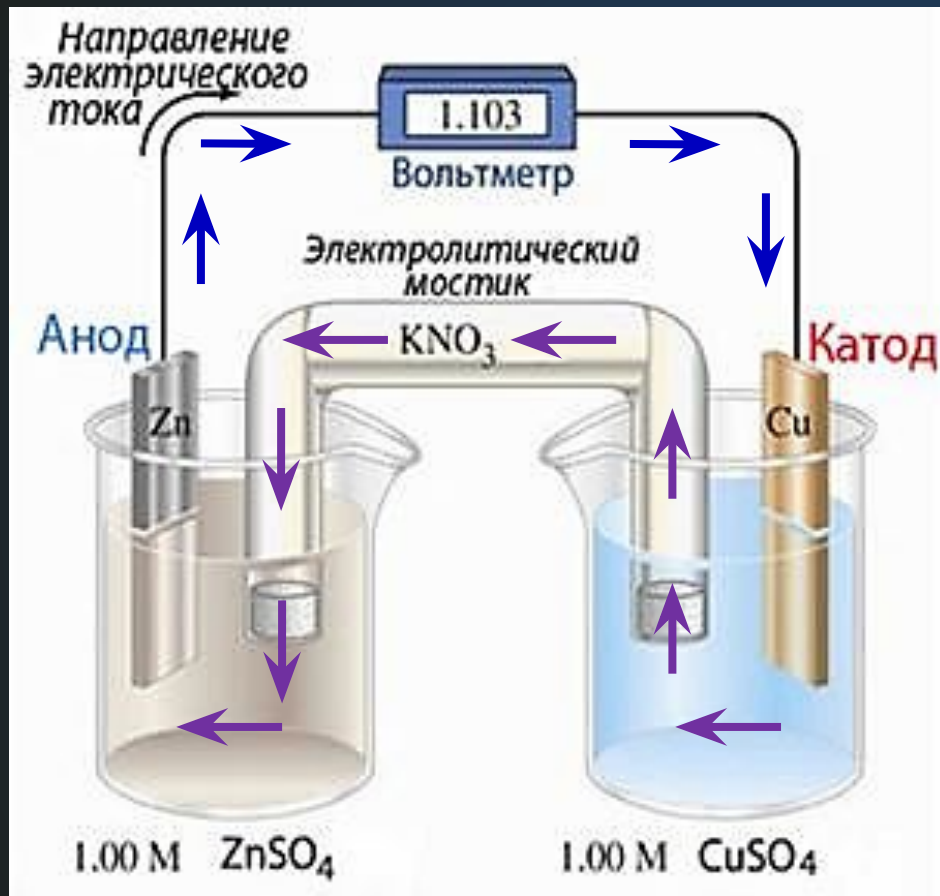


Электрический ток – направленное движение электронов



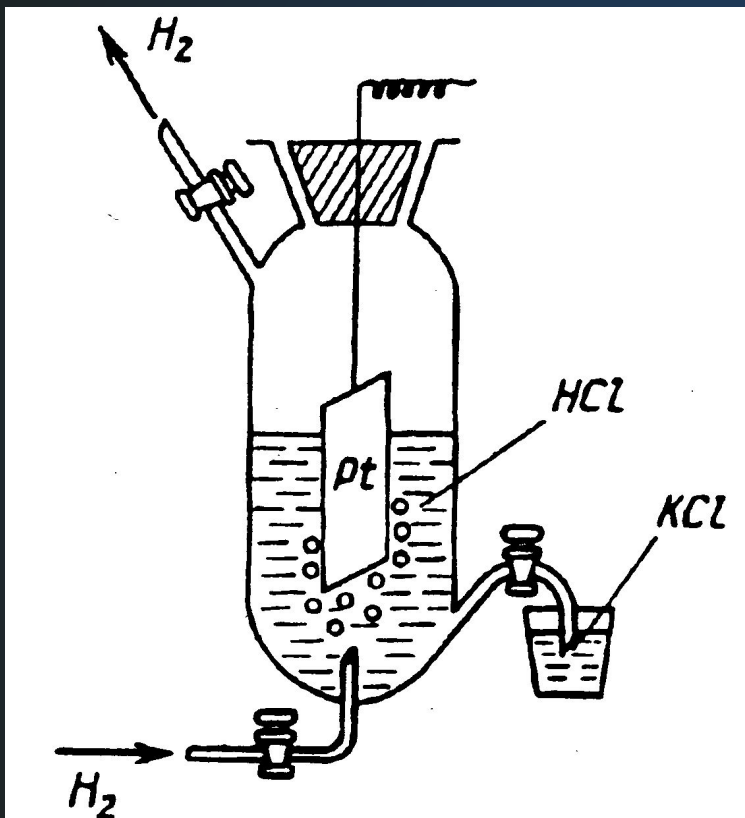
ОВР – передача электронов окислителю от восстановителя

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

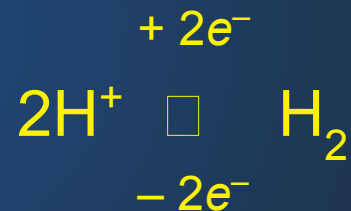


$$\text{ЭДС} = E_{\text{н}} - E_{\text{л}} = E(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 0.34 + 0.76 = 1.1 \text{ В}$$

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



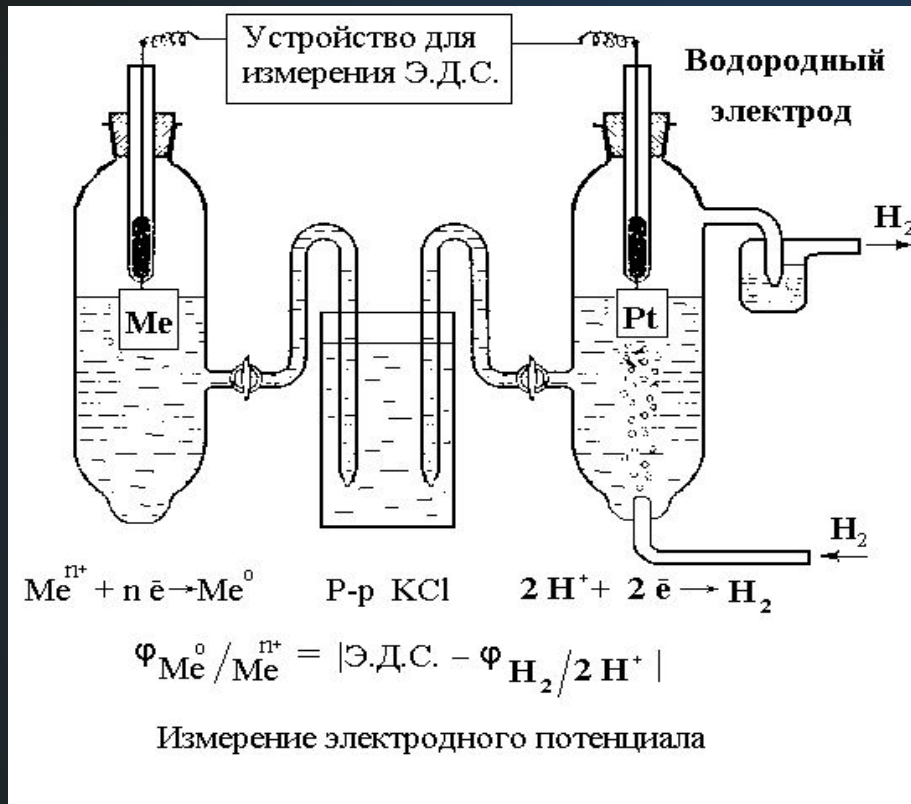
$$E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_2) = 0 \text{ В (условно!)}$$

Стандартные условия:

$p = 1$ атм., $C_i = 1$ моль/л

(25 °C = 298 К)

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ



Анод (окисление):



Катод (восстановление):

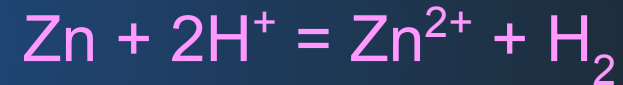
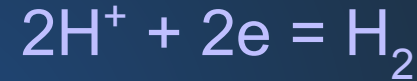
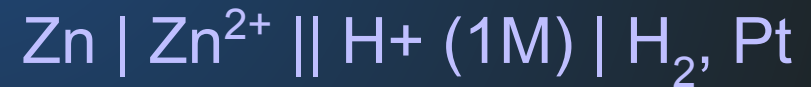


Схема гальванического эл-та



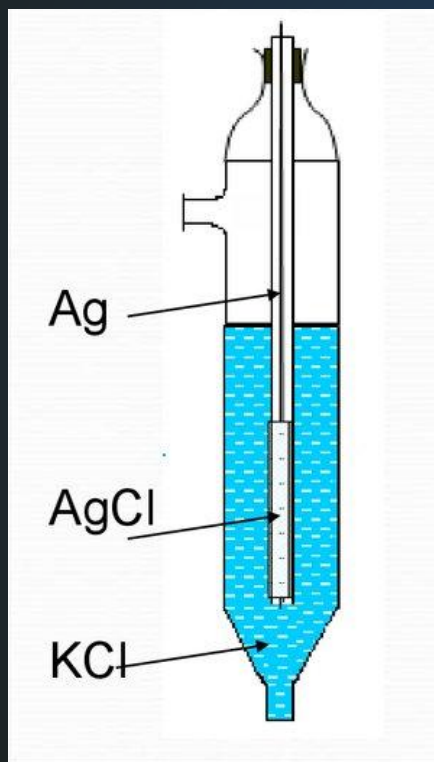
ЭДС гальванического элемента:

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

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

Другие электроды сравнения

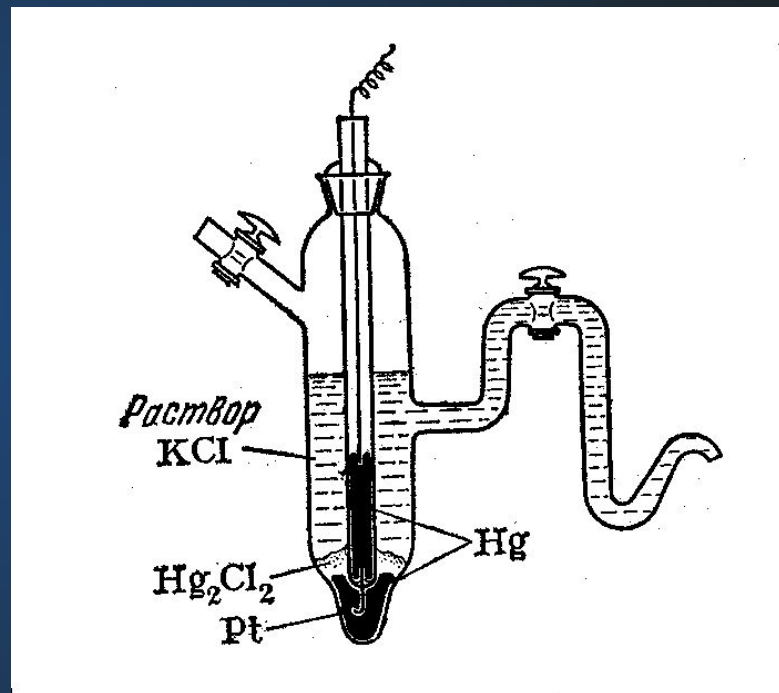
Хлоридсеребряный электрод



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



Каломельный электрод



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

ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

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

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

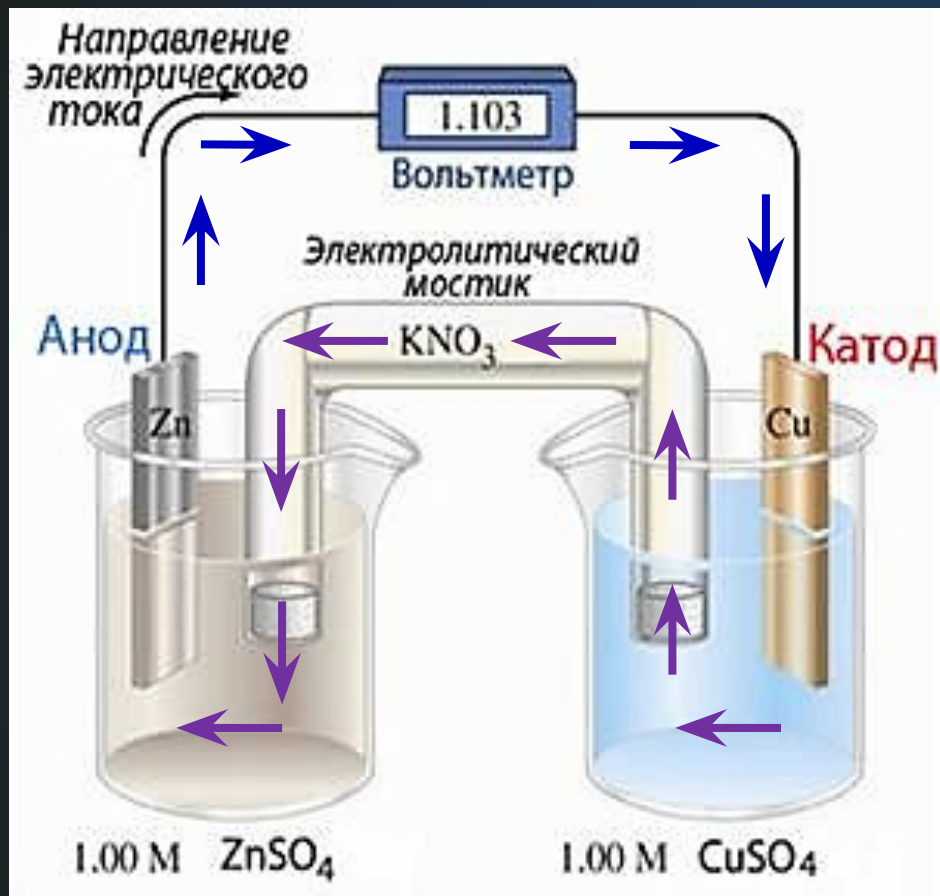
ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ

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

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

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ДАНИЭЛЯ – ЯКОБИ

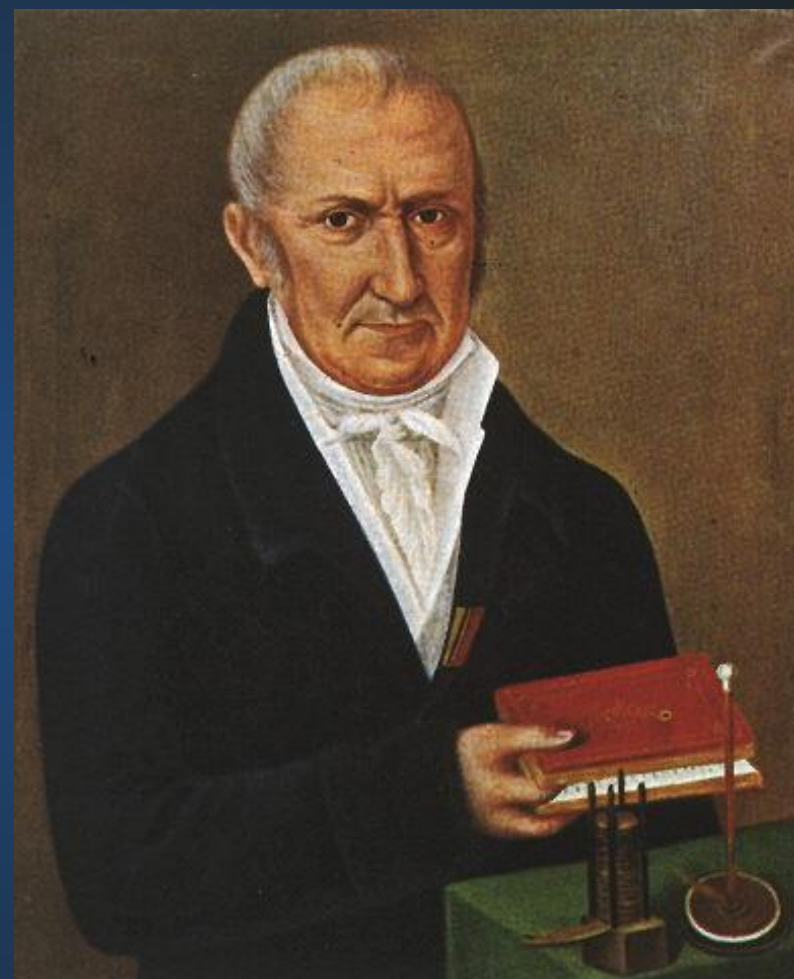


$\text{ЭДС} = E_{\text{н}} - E_{\text{л}} = E(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 0.34 + 0.76 = 1.1 \text{ В}$

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ДАНИЭЛЯ – ЯКОБИ

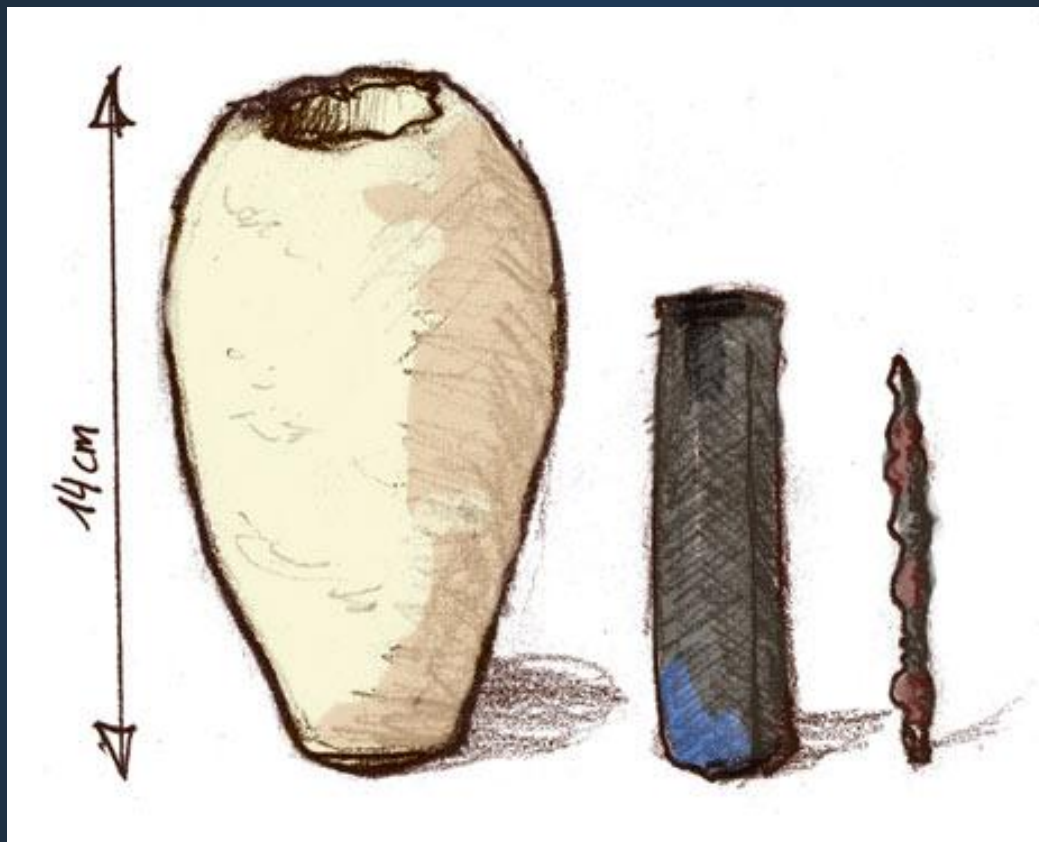


Вольтов столб
Луиджи
Гальвани
(1737 – 1798)

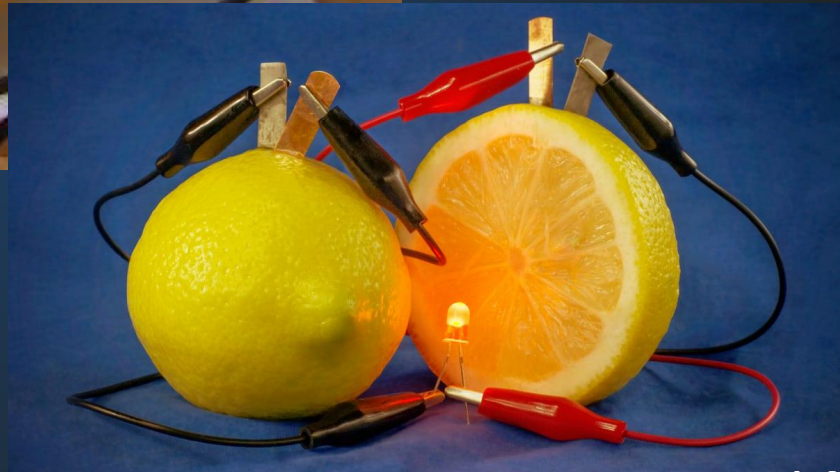


Алессандро
Вольт
(1745 – 1827)

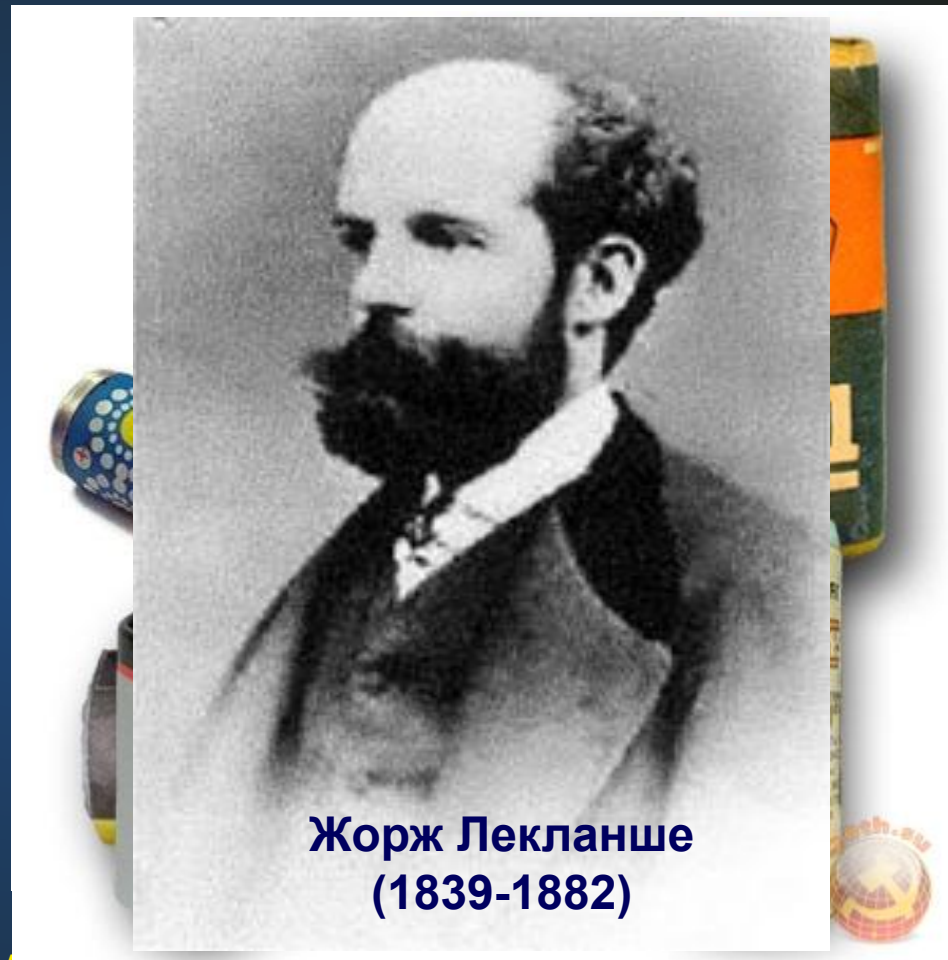
ДРЕВНИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ?



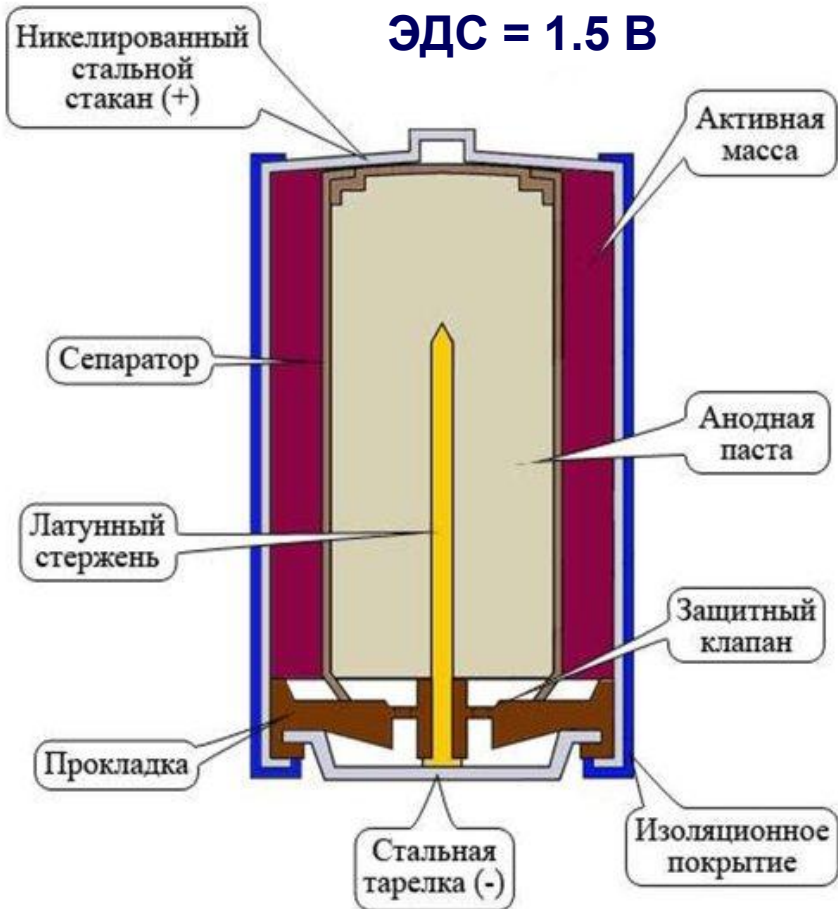
«Багдадская батарейка» (~ III в. до н.
э.)



МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ (элемент Лекланше, солевой элемент)



ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕМЕНТ

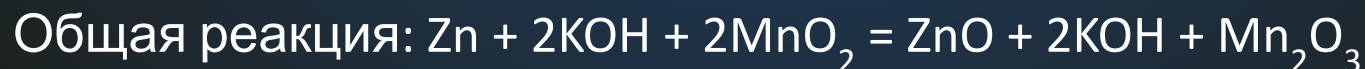


Преимущества:

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

Недостатки:

- большая масса
- более высокая цена



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АККУМУЛЯТОРЫ

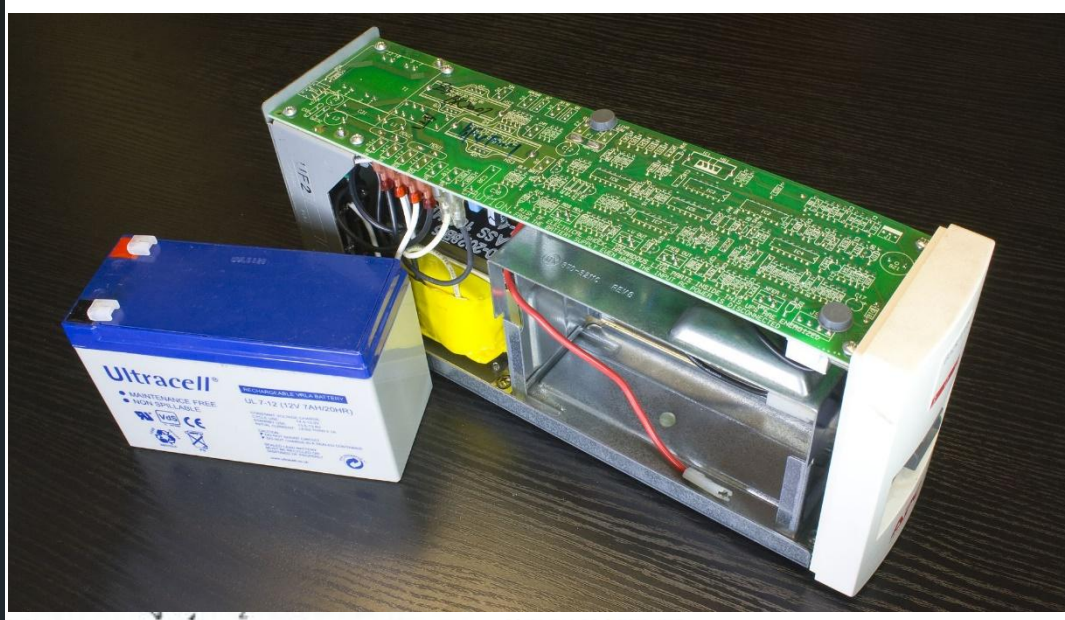
Электрический аккумулятор — химический источник тока многократного действия.

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

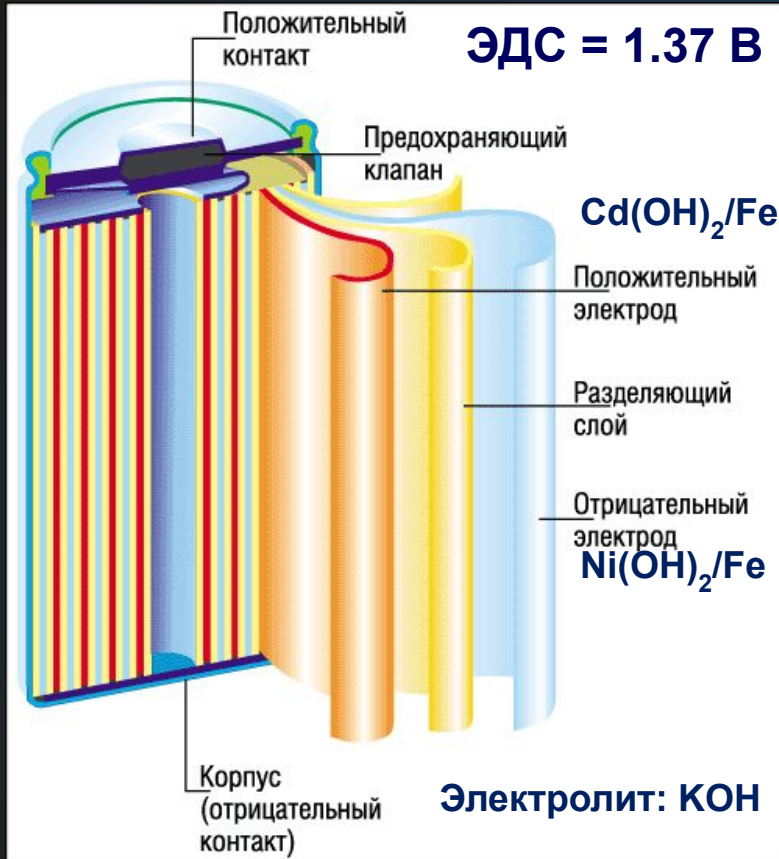
катод (+): $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2e = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Заряжение:

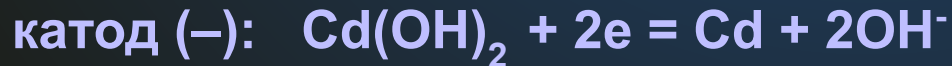
анод (+): $\text{PbSO}_4 - 2e = \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$

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

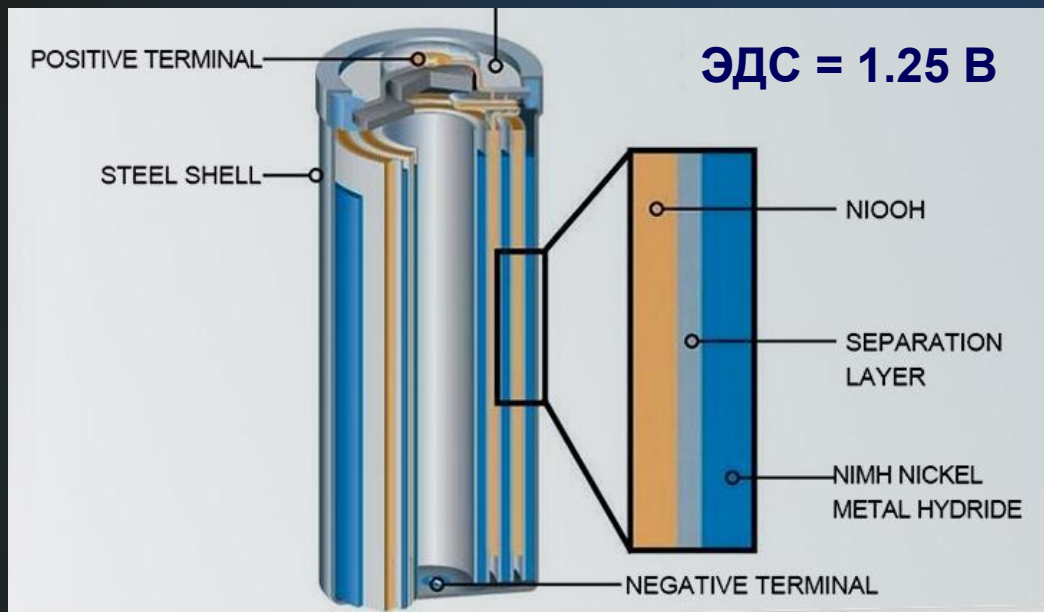
Никель-кадмиевый аккумулятор



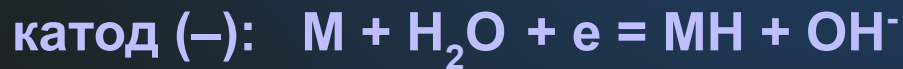
Заряжение:



Никель-металлгидридный аккумулятор



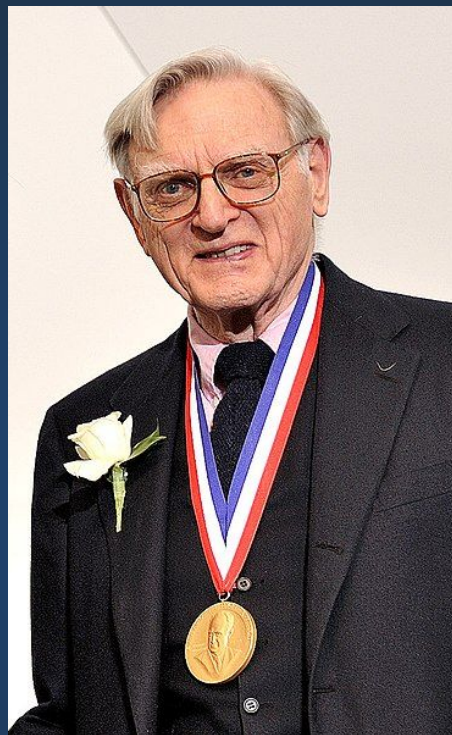
Заряжение:



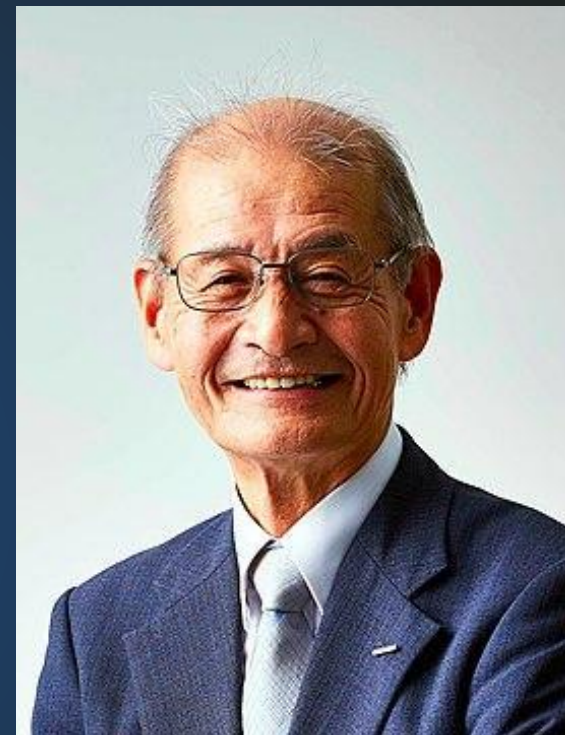
ЛИТИЙ – ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ



Майкл Стэнли
Уиттингем
(1941 г.,
Великобритания)



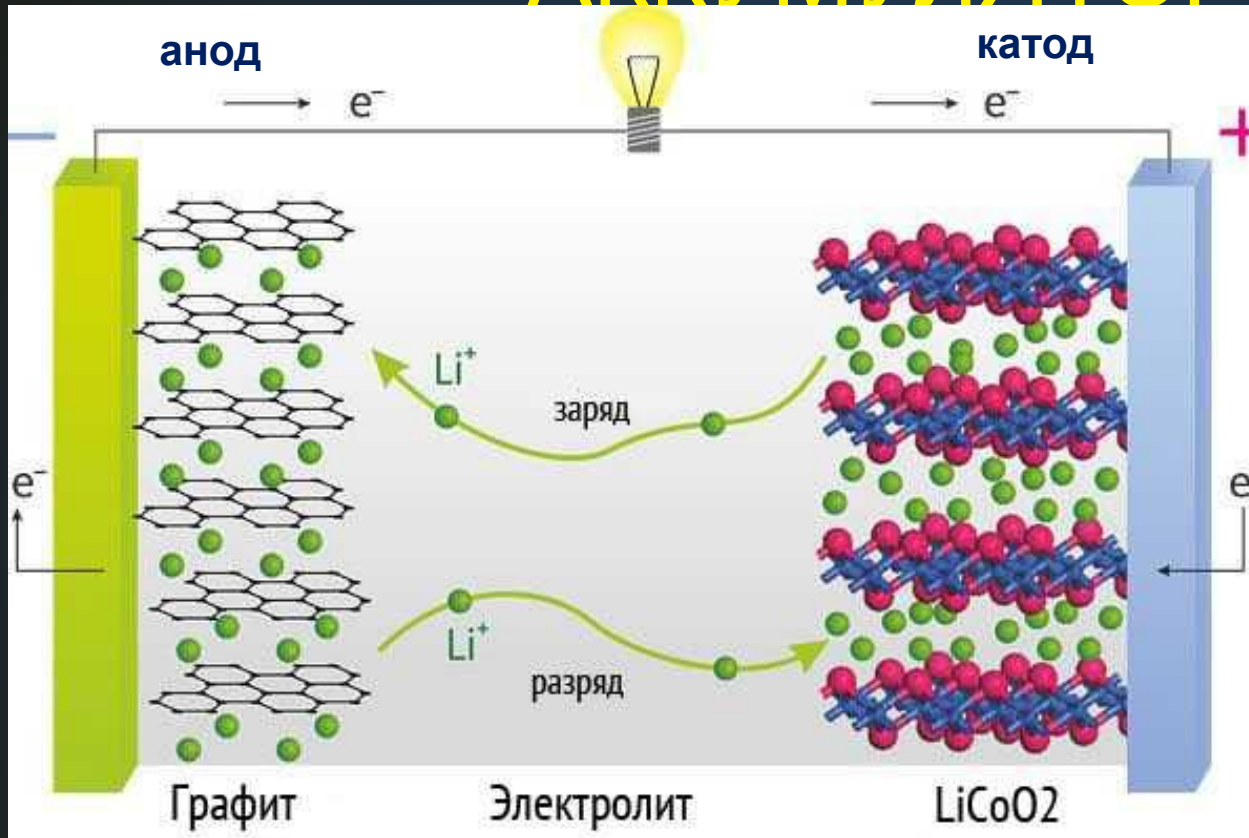
Джон
Гуденаф
(1922 г., США)



Акиро Ёсина
(1922 г., США)

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

ЛИТИЙ – ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ



литий-кобальтовые: $LiCoO_2 + xC_6 \rightarrow Li_{1-x}CoO_2 + xLiC_6$

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

литий-ферро-фосфатные: $LiFePO_4 + xC_6 \rightarrow Li_{1-x}FePO_4 + xLiC_6$

ЛИТИЙ – ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

