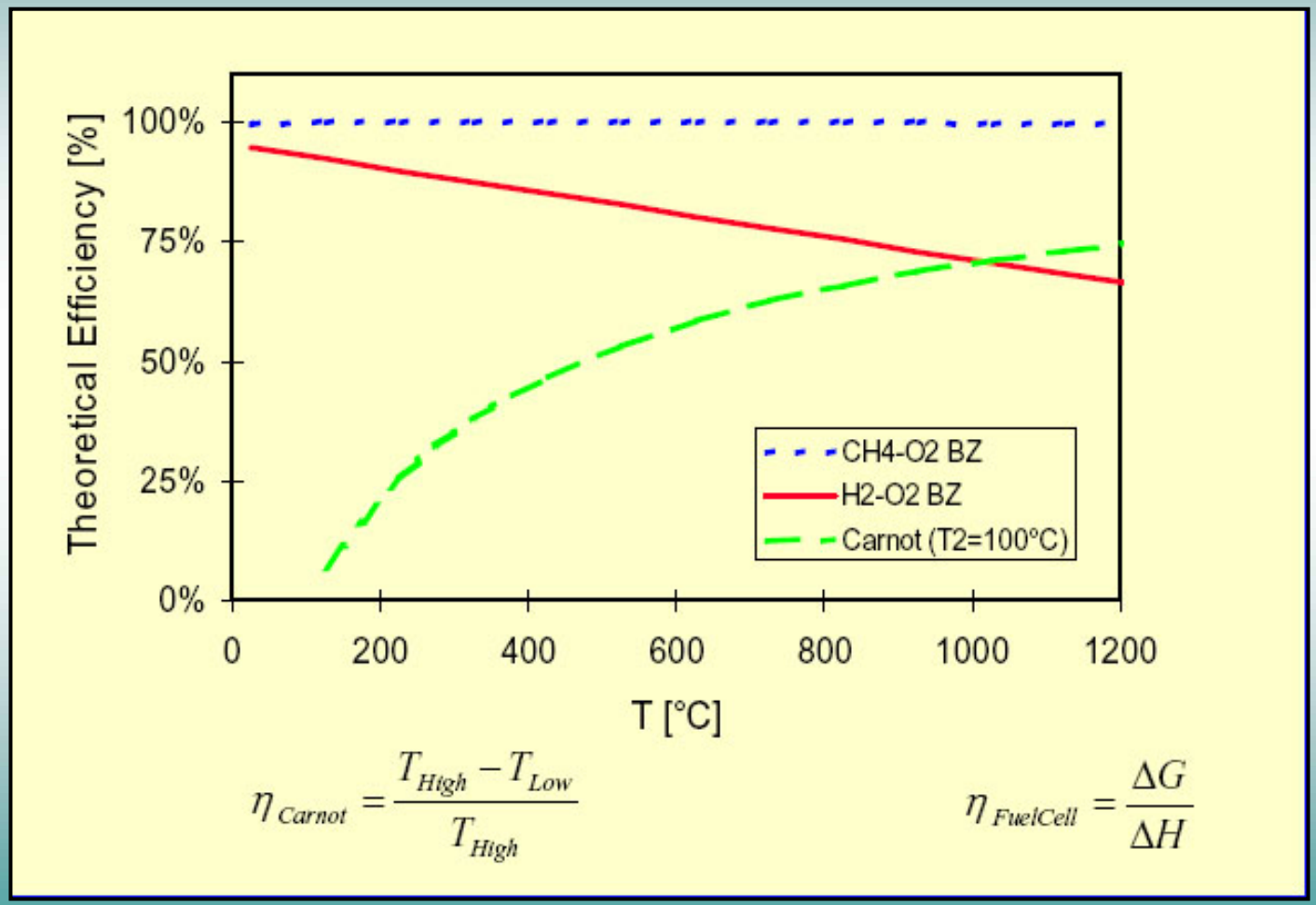
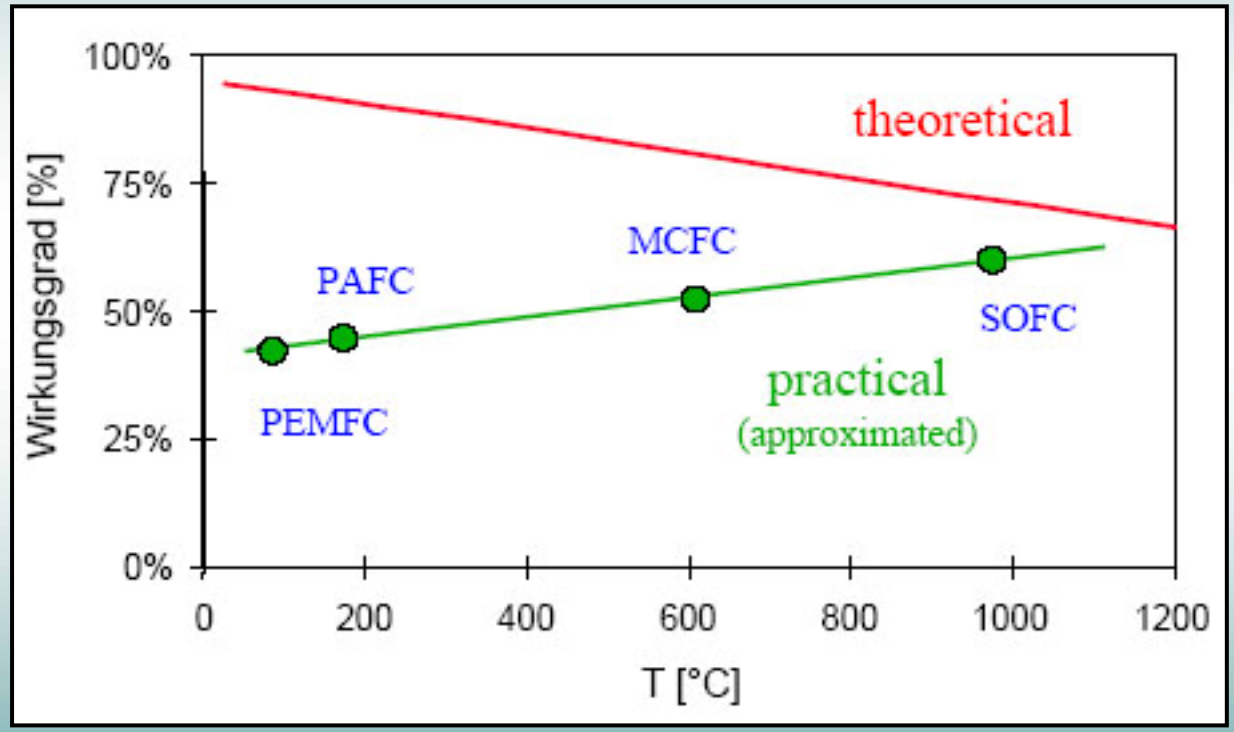
# Теоретическая эффективность



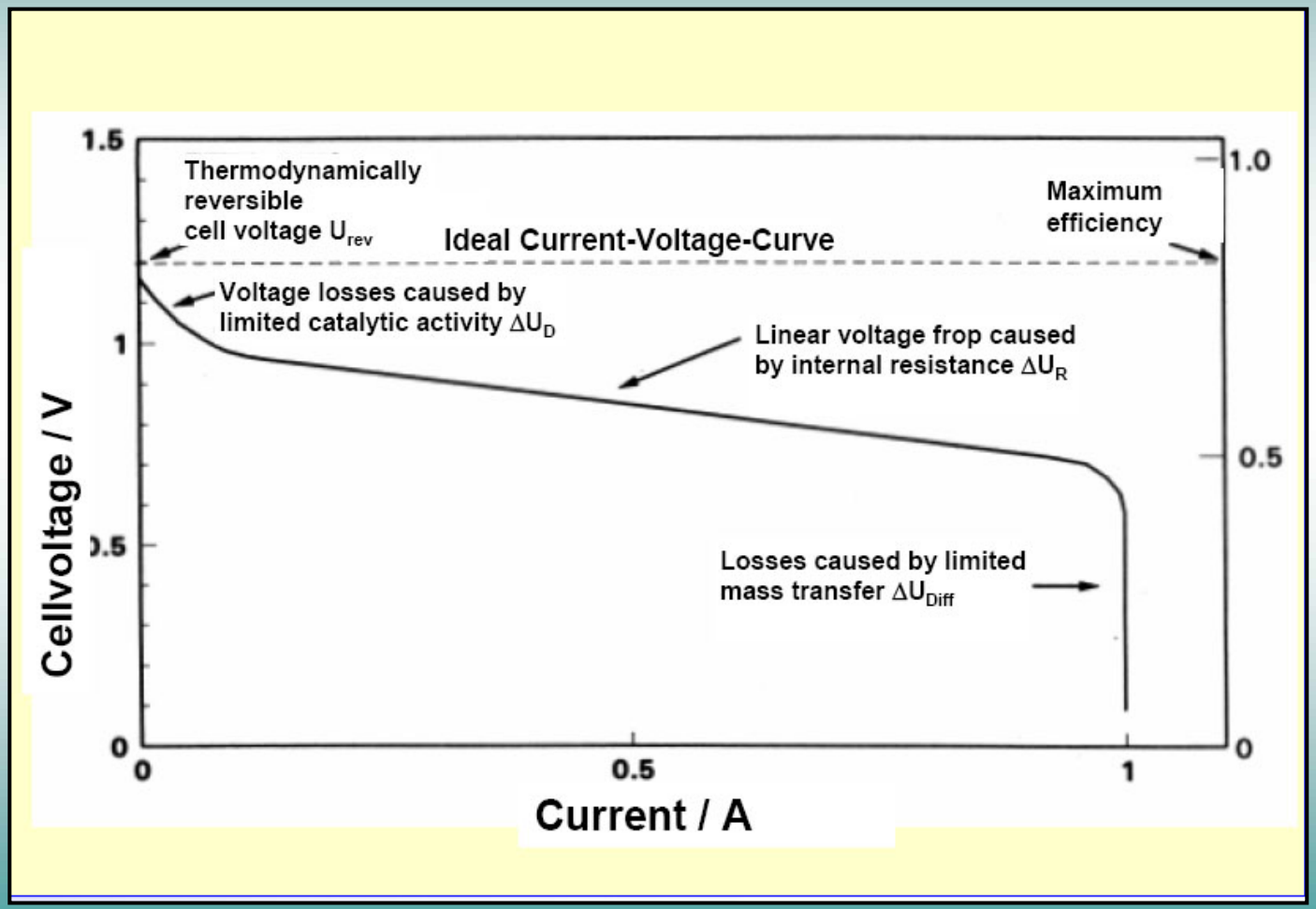

$$\eta_{Carnot} = \frac{T_{High} - T_{Low}}{T_{High}}$$

$$\eta_{FuelCell} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

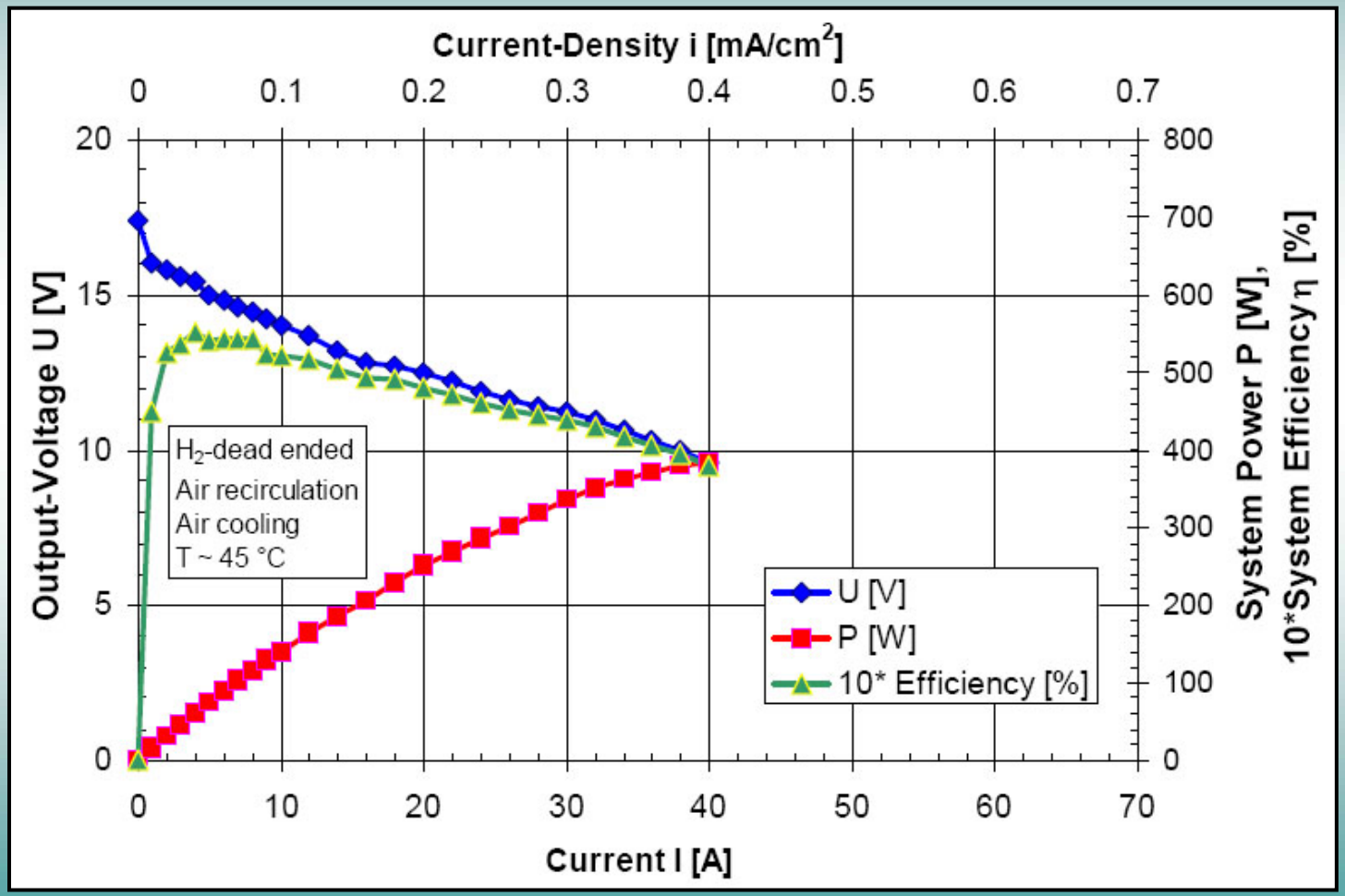
# Практическая эффективность



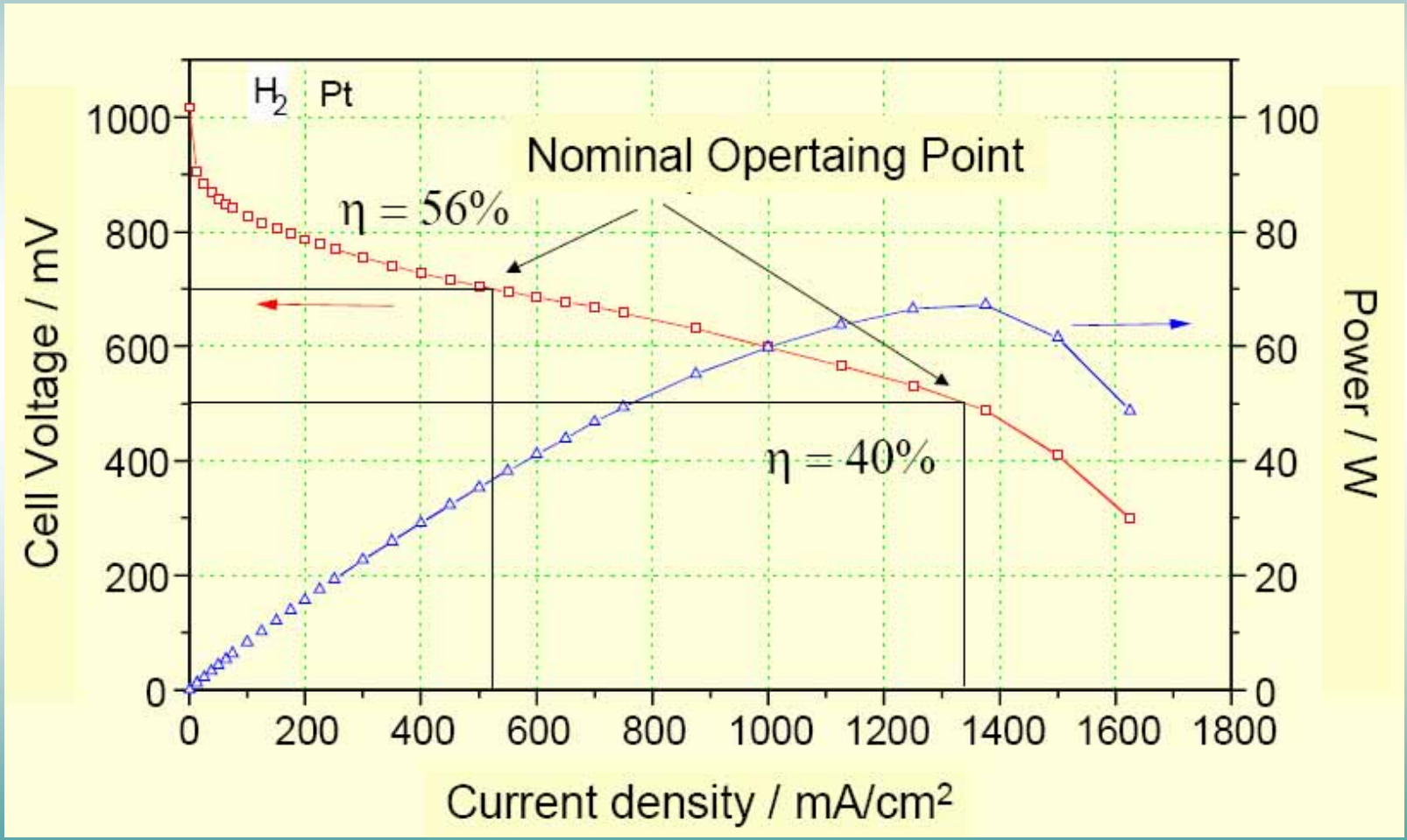
# Характеристическая кривая



# Характеристические кривые



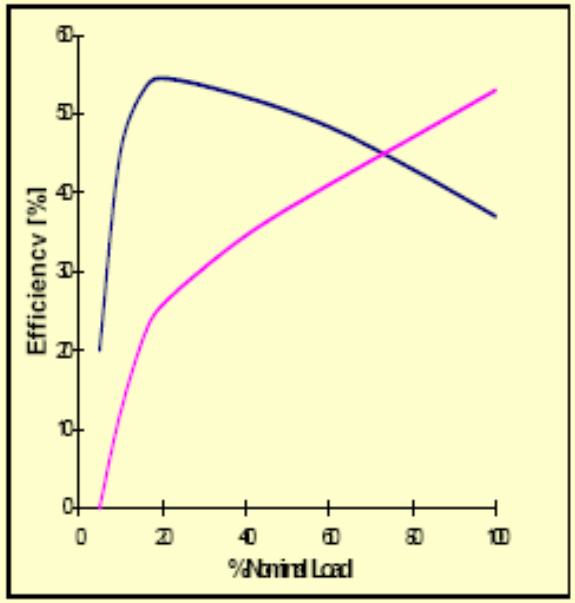
# Характеристическая кривая



# Эффективность

- Total efficiency of a fuel cell system
  $\eta tot = \eta Max \cdot \eta U \cdot \eta Ii \cdot \eta Sys$
  - ηU: Voltaic efficiency
    - Ucell/Utheoretical
  - ηIi: Coulomic efficiency
    - Part of the fuel / oxidant (material) flow used for electricity production.
    - Depending on material an electricity flow
  - ηSys: System efficiency
    - Summation on system losses (pumps, sensors, fuel processing etc.)

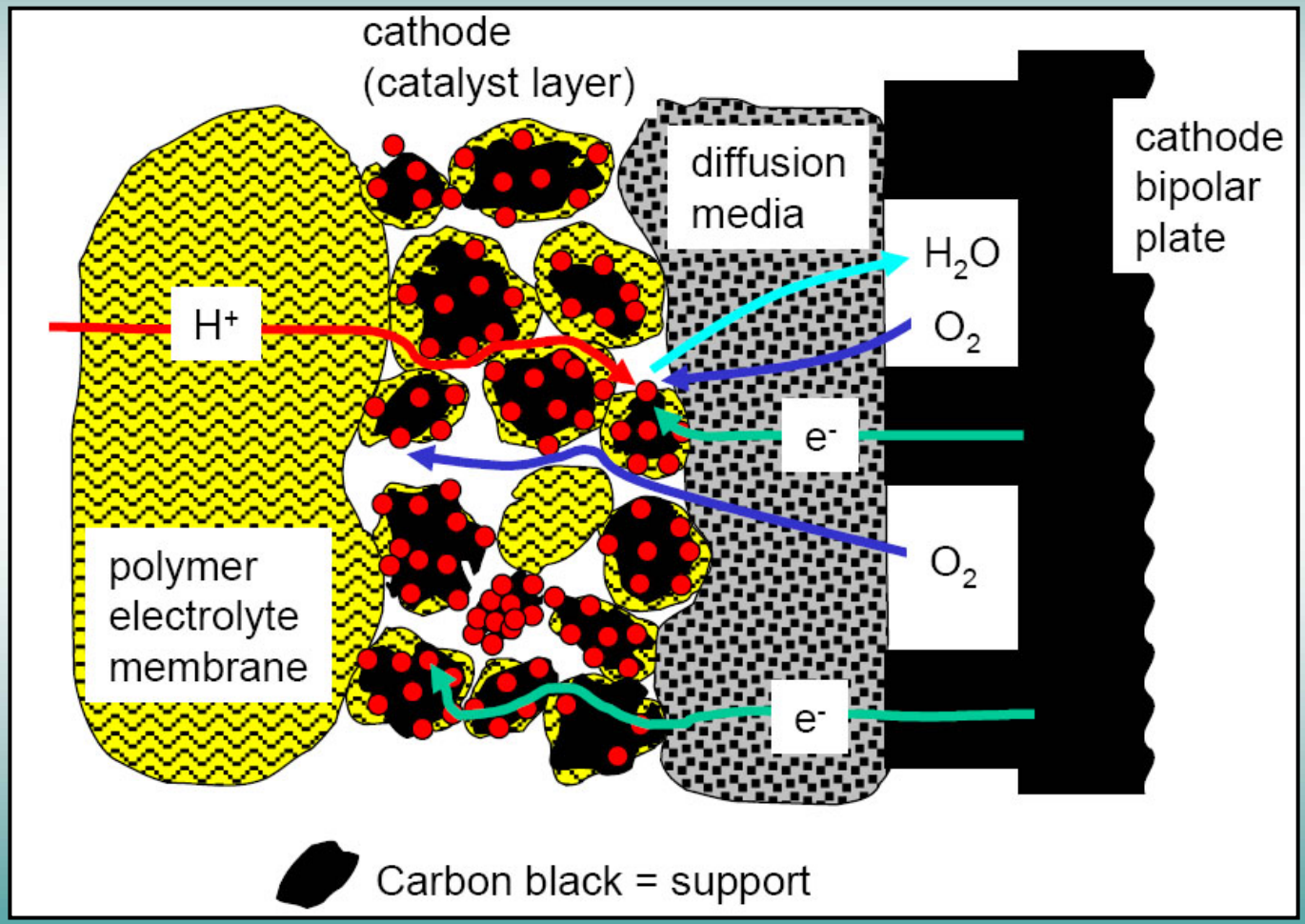
Efficiency ~ f(Load)



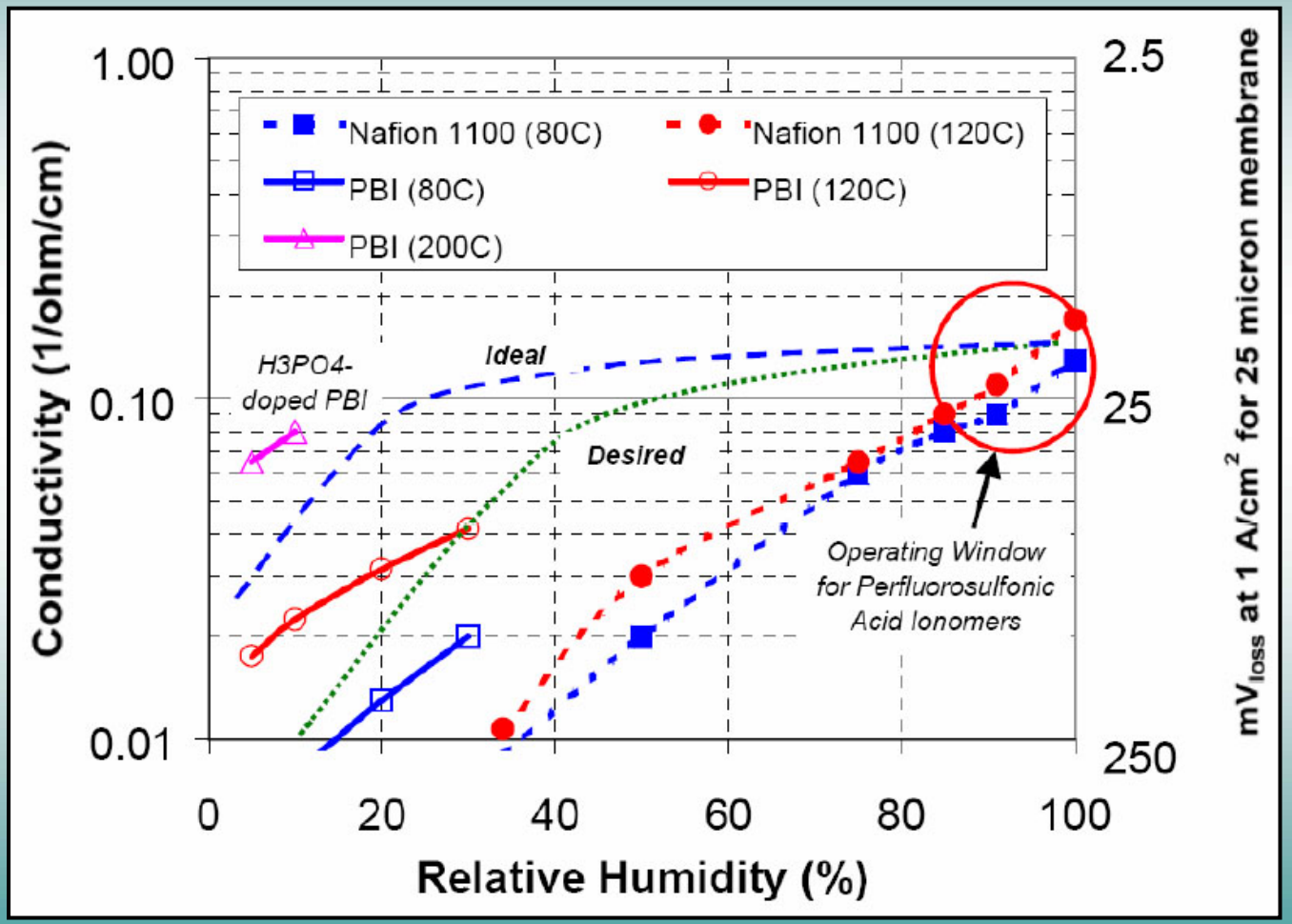
# Топливные элементы

- Основные технологические проблемы:
- Дизайн электродов, обеспечивающих максимальную область трехфазного контакта с обеспечением транспорта топлива, электронов и ионов к каталитическим центрам
- Обеспечение высокой ионной проводимости электролита при отсутствии электронной проводимости и проницаемости по топливу

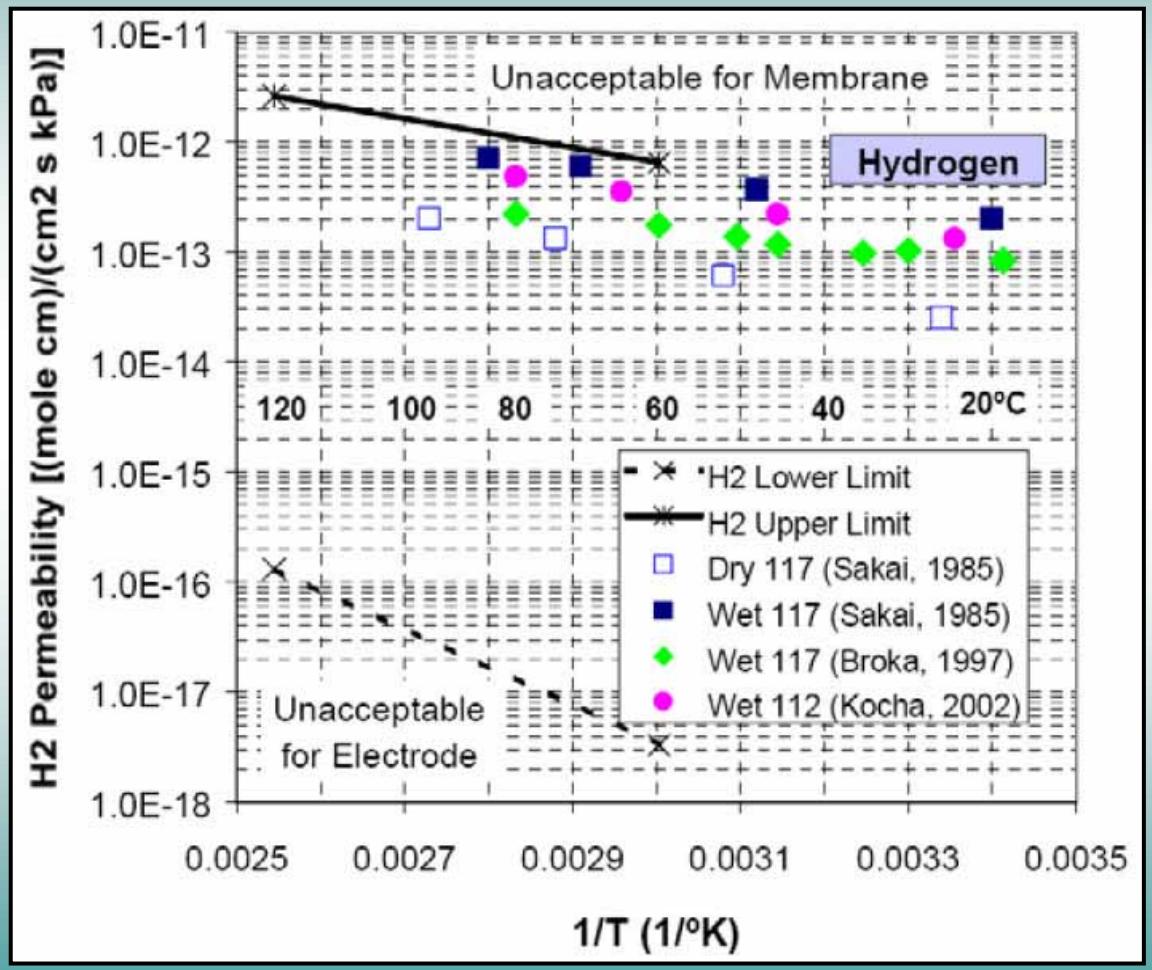
# Мембранно-электродный блок



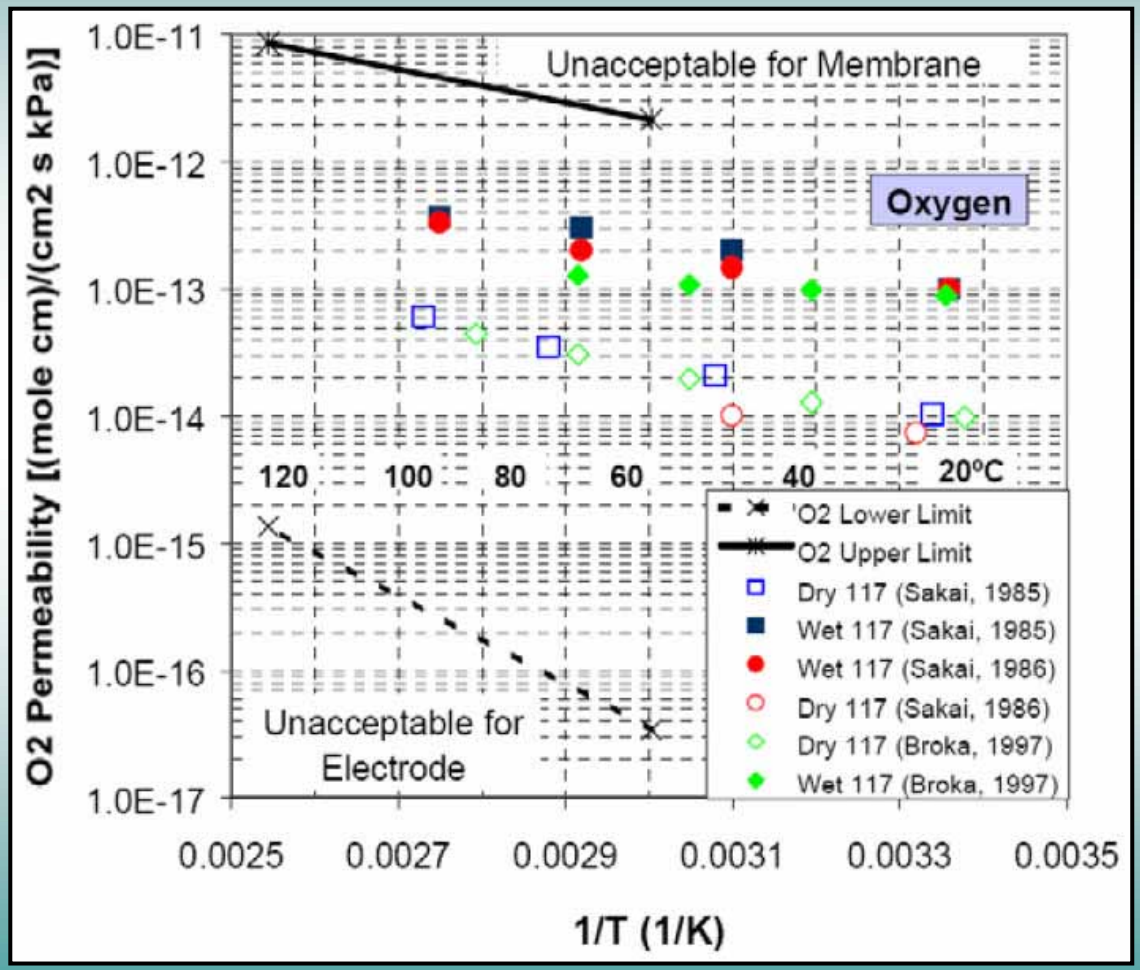
# Проводимость мембран



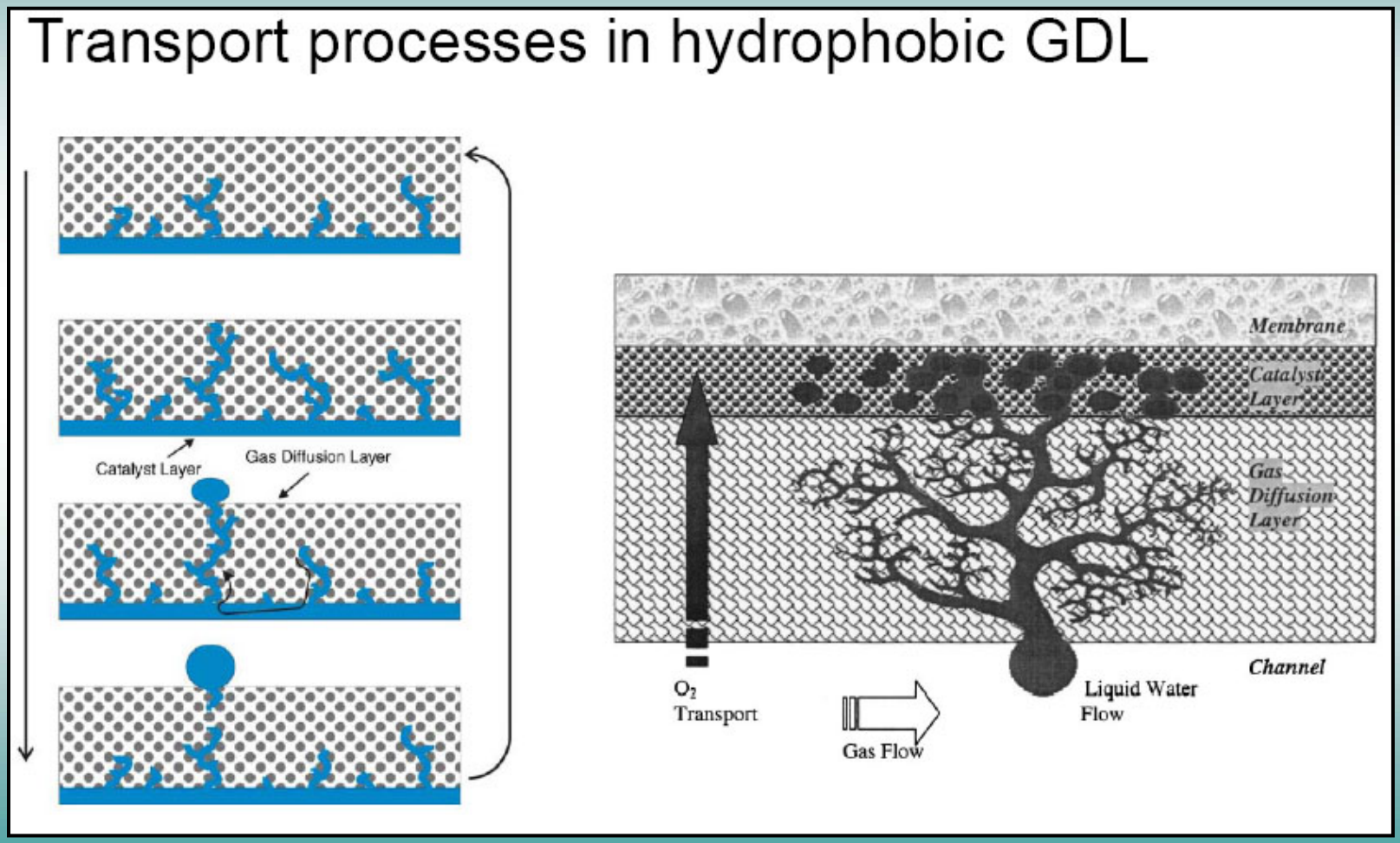
# Газопроницаемость



# Газопроницаемость



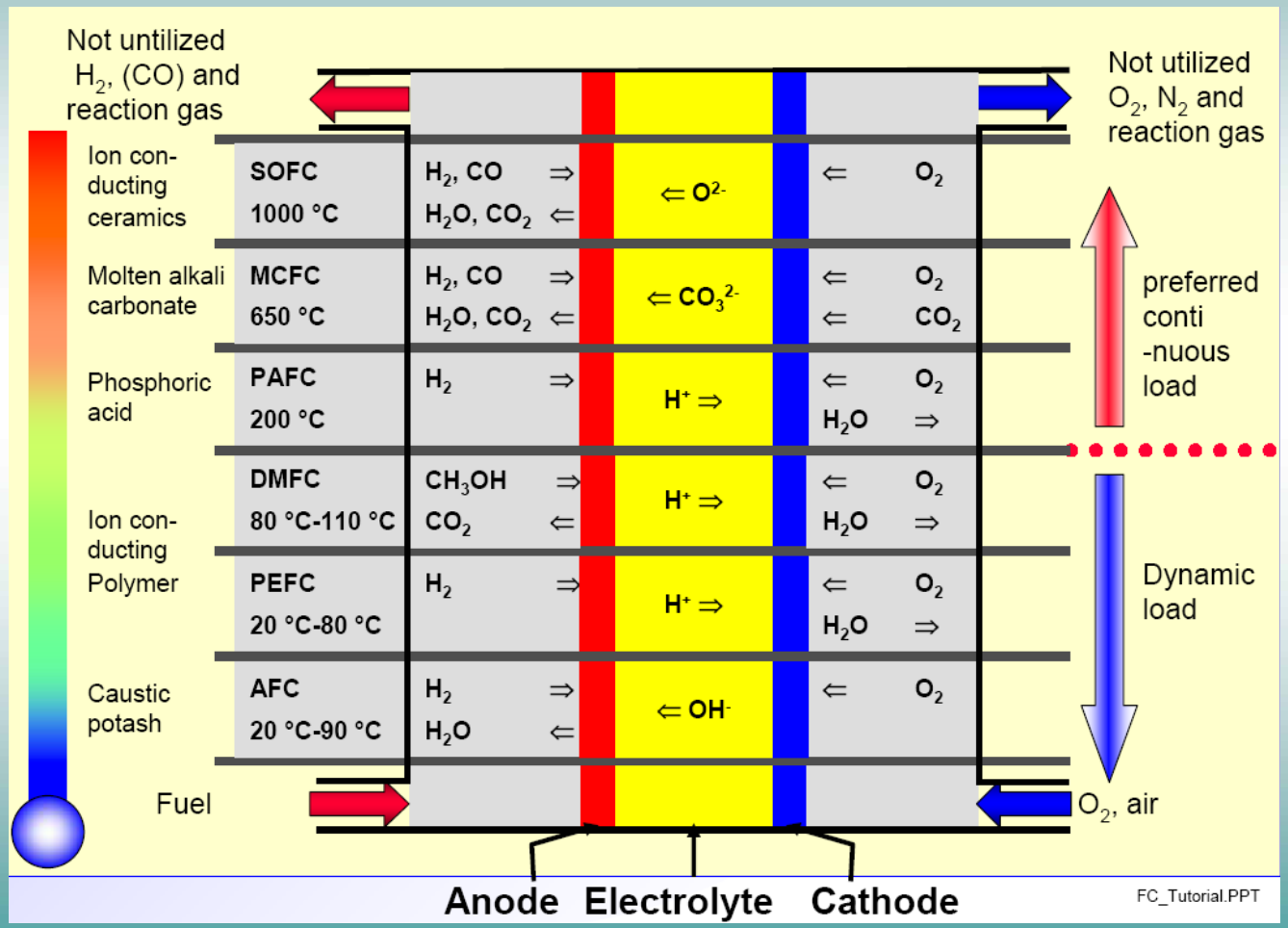
# Процессы переноса в гидрофобных ГДС



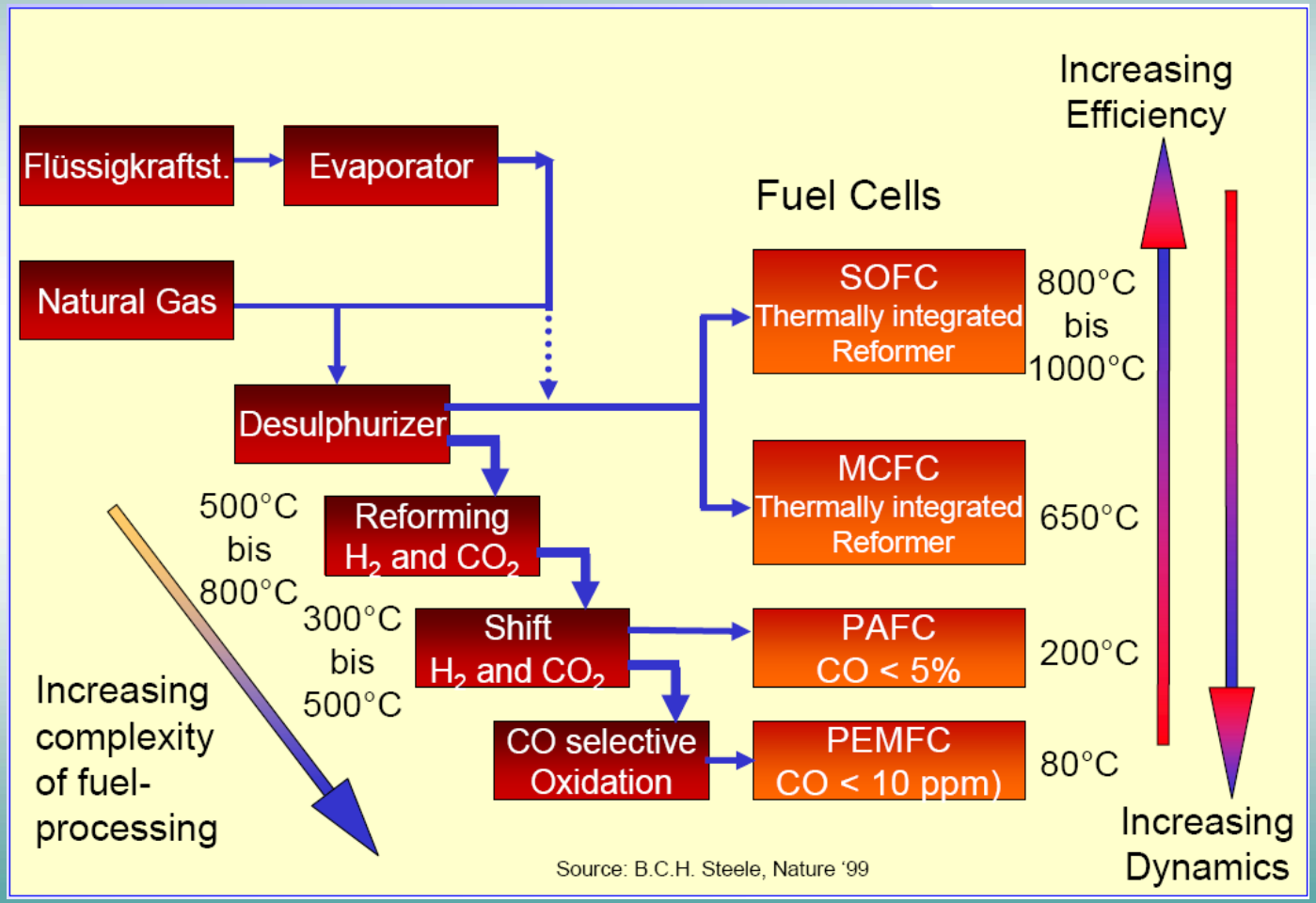
# Классификация ТЭ

- Тип электролита (определяет рабочую температуру)
- Тип топлива (в некоторых случаях)

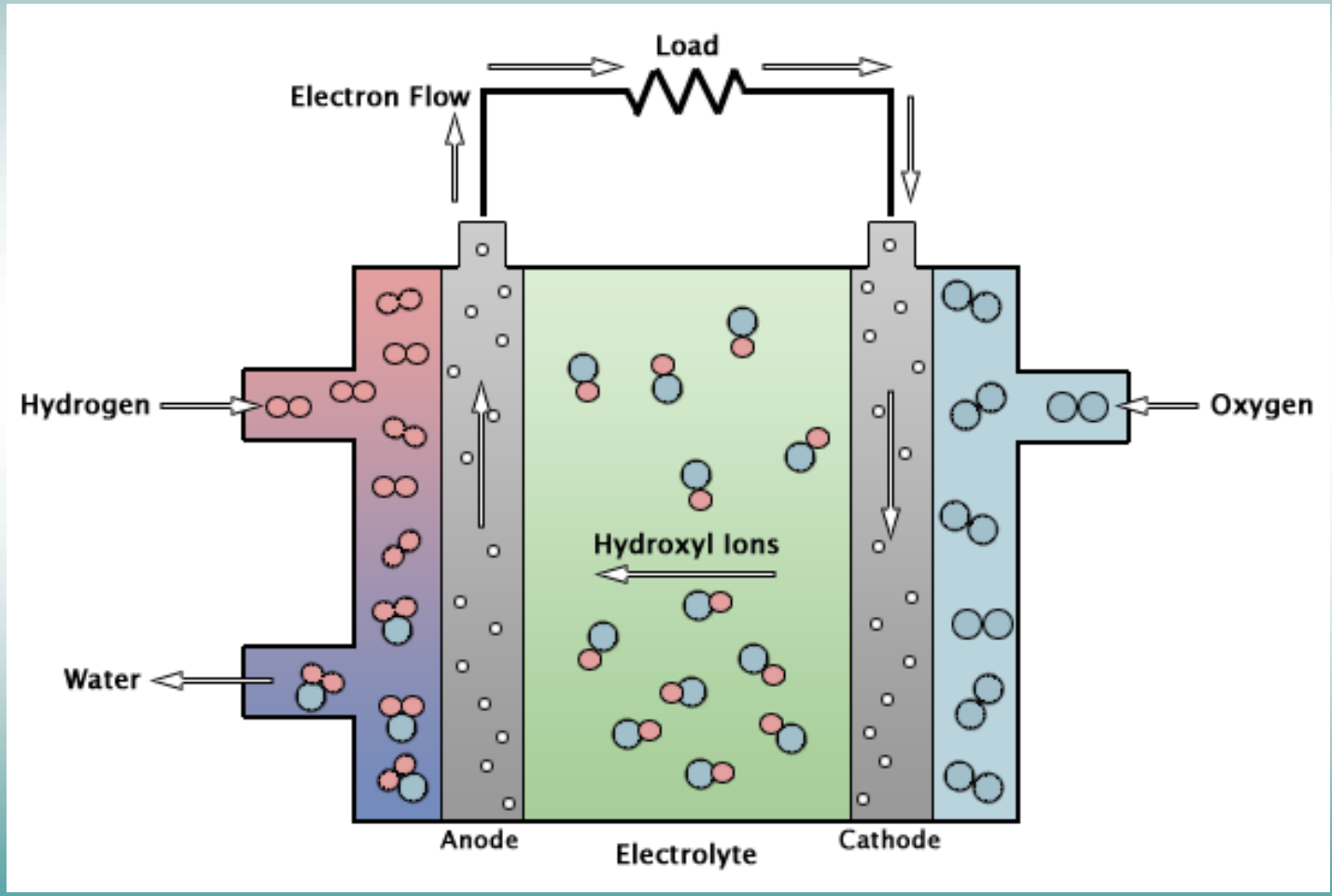
# Типы ТЭ


Not untilized
$H_2$, (CO) and
reaction gas
Not utilized
$O_2$, $N_2$ and
reaction gas
Ion con-
ducting
ceramics
SOFC
1000 °C
$H_2$, CO ⇒
$H_2O$, $CO_2$ ⇐
⇐ $O^{2-}$
⇐ $O_2$
Molten alkali
carbonate
MCFC
650 °C
$H_2$, CO ⇒
$H_2O$, $CO_2$ ⇐
⇐ $CO_3^{2-}$
⇐ $O_2$
⇐ $CO_2$
preferred
conti
-nuous
load
Phosphoric
acid
PAFC
200 °C
$H_2$ ⇒
$H^+$ ⇒
⇐ $O_2$
$H_2O$ ⇒
DMFC
80 °C-110 °C
$CH_3OH$ ⇒
$CO_2$ ⇐
$H^+$ ⇒
⇐ $O_2$
$H_2O$ ⇒
Ion con-
ducting
Polymer
PEFC
20 °C-80 °C
$H_2$ ⇒
$H^+$ ⇒
⇐ $O_2$
$H_2O$ ⇒
Dynamic
load
Caustic
potash
AFC
20 °C-90 °C
$H_2$ ⇒
$H_2O$ ⇐
⇐ $OH^-$
⇐ $O_2$
Fuel
$O_2$, air
Anode
Electrolyte
Cathode
FC_Tutorial.PPT

# Технология ТЭ



# Щелочные ТЭ

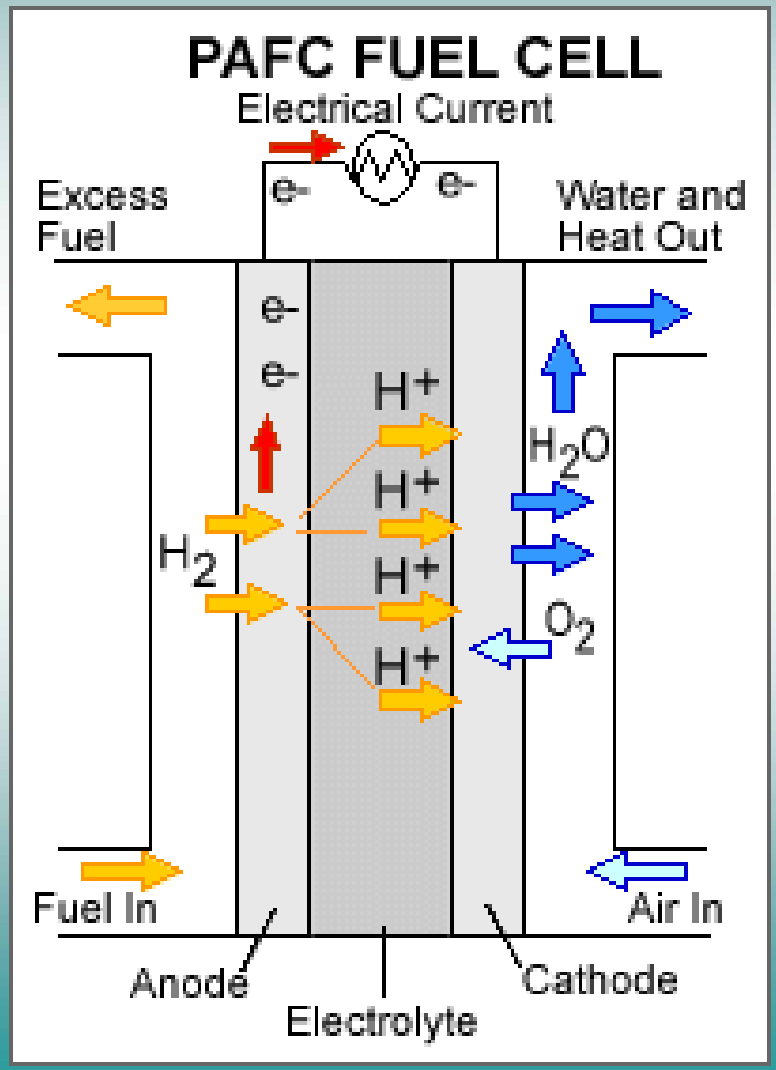



Wikipedia ©

# Щелочные ТЭ

- Щелочной электролит (например, водные растворы NaOH, KOH)
- Топливо: водород, окислитель: кислород (воздух)
- Электроды: металл (никель)
- Проблема удаления воды
- Проблема $CO_2$ в окислителе
- Эффективность: 30-80%
- Температурный режим: ~70°C

# Фосфорнокислотные ТЭ

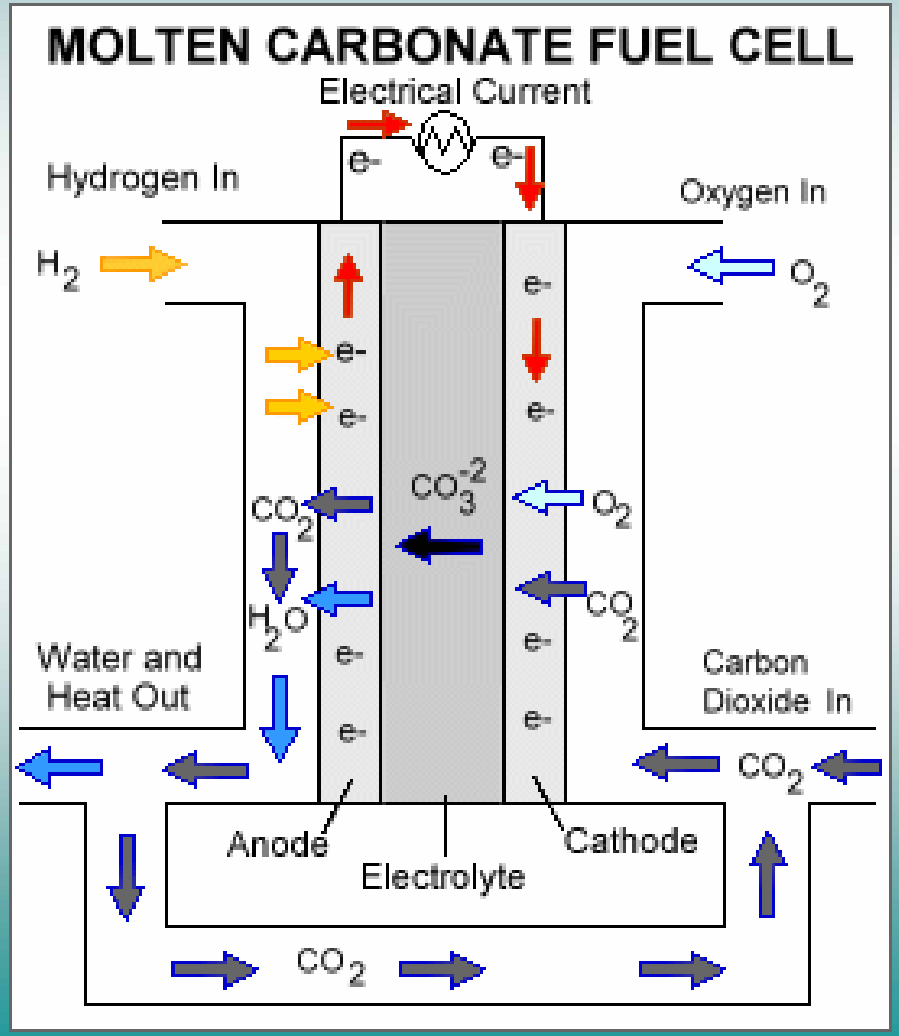



Wikipedia ©

# Фосфорнокислотные ТЭ

- Электролит – фосфорная кислота ($H_3PO_4$)
- Топливо: водород, окислитель: кислород или воздух
- Температурный режим ~ 200°C
- Снижены ограничения по чистоте топлива (содержание CO и $CO_2$)
- Электроды: платина
- Проблема коррозионной стойкости (графит)

# ТЭ на основе расплавов карбонатов

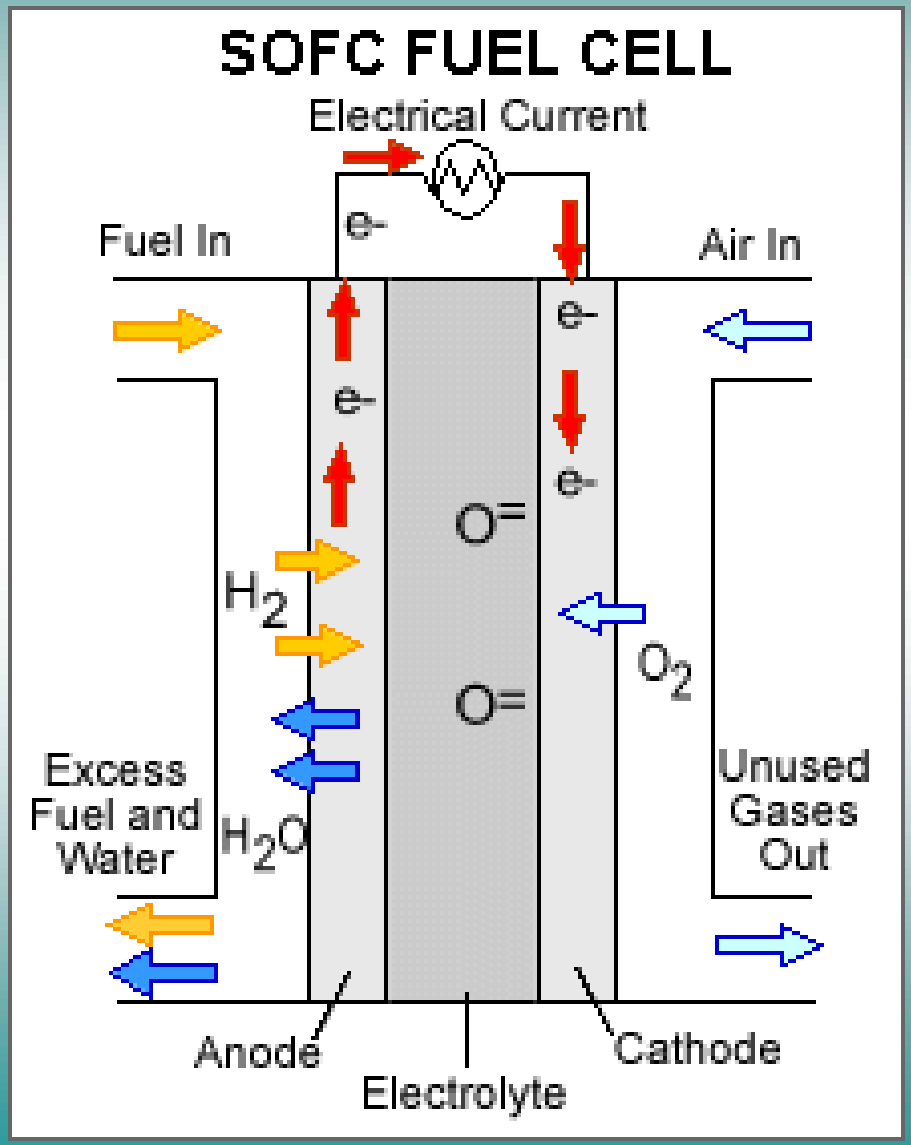



Wikipedia ©

# ТЭ на основе расплавов карбонатов

- Топливо: смесь водорода и CO (из воды и природного топлива)
- Электролит: смесь расплавов карбонатов лития и калия
- Температурный режим – ~ 650°C
- Электроды: NiO (катод), пористый сплав Ni и Cr (анод)
- Продукты реакции – вода и $CO_2$
- Эффективность: 45%
- Проблемы растворения NiO, выделения C, потерь электролита
- Проблемы токсичного топлива и высоких температур

# Твердооксидные ТЭ




Wikipedia ©

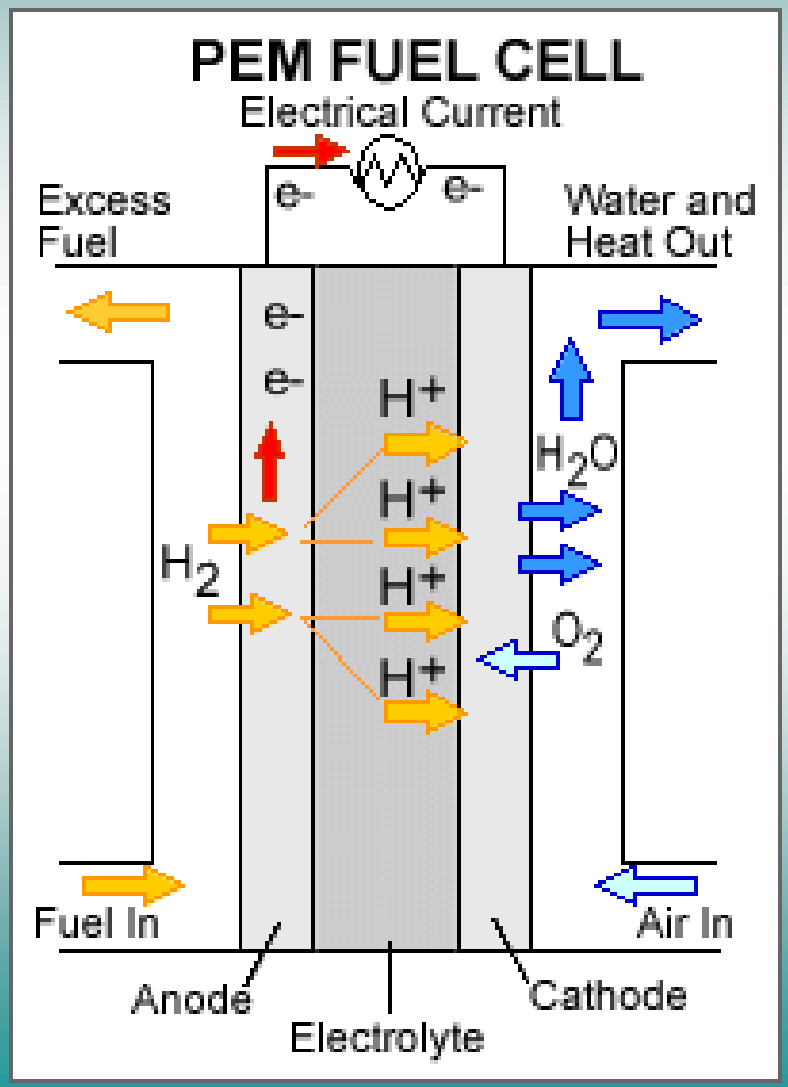
# Твердооксидные ТЭ

- Электролит: ионпроводящий керамический материал ($ZrO_2 + Y_2O_3$)
- Электроды: пористая металлокерамика $Ni/ZrO_2/Y_2O_3$ (анод), пористый перовскит $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ (катод)
- Топливо: водород + CO
- Продукты реакции: вода + $CO_2$
- Температурный режим: до 1000°C
- Эффективность: 50-55%

# Полимерные ТЭ

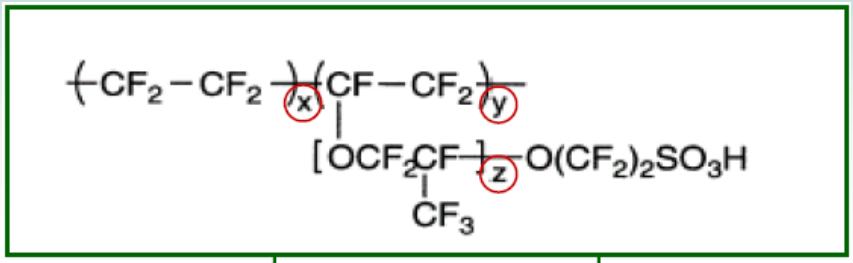
- Ион-проводящая полимерная мембрана, из материала типа Нафиона (сополимер ТФЭ и перфторсульфоновой кислоты)
- Полибензимидазольные матрицы, импрегнированные фосфорной кислотой

# ТЭ с протонообменной мембраной




Wikipedia ©

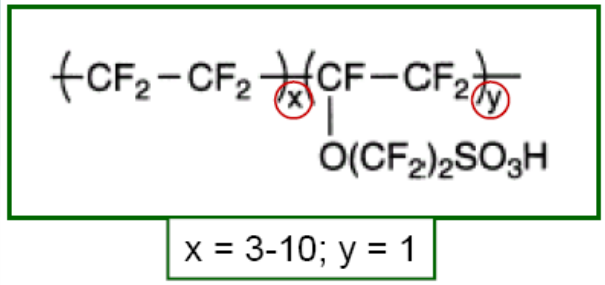
# Перфторированные мембраны




DuPont,

Asahi Glass,

Asahi Chemical




Dow Chemical

# ТЭ прямого окисления спиртов

- Топливо: метанол (этанол?) – высокая энергетическая плотность
- Проблемы: медленные катодные и анодные реакции, проницаемость перфторсульфоновых мембран по отношению к топливу

# Сравнение типов ТЭ

| | AFC | PEFC | PAFC | MCFC | SOFC |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperature | low | <100°C | | Up to 1000°C | high |
| Catalyst | pure | Platinum | | metal | less pure |
| Gas specification | clean | 4-5.0 $H_2$ | | $C_nH_m$ | less clean |
| Cell efficiency | low | 40-50% | | 50-60% | high |
| System complexity | low | Reforming System | | Internal Ref. | high |
| Start-Up-Time | At once | Seconds | | Hours | high |
| Dynamic | low | | | | high |