

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», факультет физики

специализация "Водородная энергетика"

на базе технологической компании

«ИнЭнерджи» (<https://inenergy.ru>)

Зав. лабораторией «Ионного транспорта»

д.ф.-м.н. Синицын Виталий

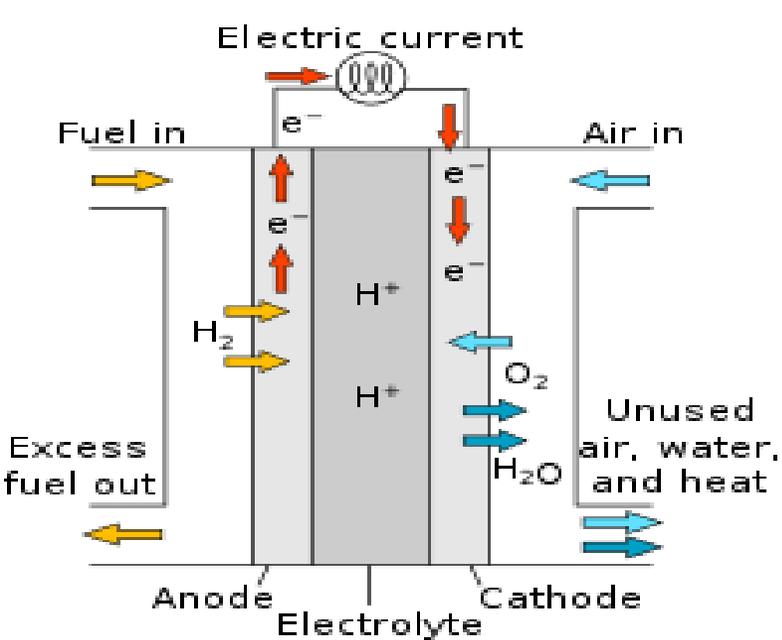
Компания «ИнЭнерджи» - ведущий российский разработчик электрохимических решений для энергетики

- Основное направление – разработка и производство электрохимических генераторов на основе топливных элементов.
- Два наиболее коммерчески успешных продукта:
 1. топливные элементы на протонообменных мембранах (ПОМТЭ, PEMFC);
 2. твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ, SOFC).

О каких топливных элементах идет речь? В чем отличие ТЭ от, например, литий-ионных батарей?

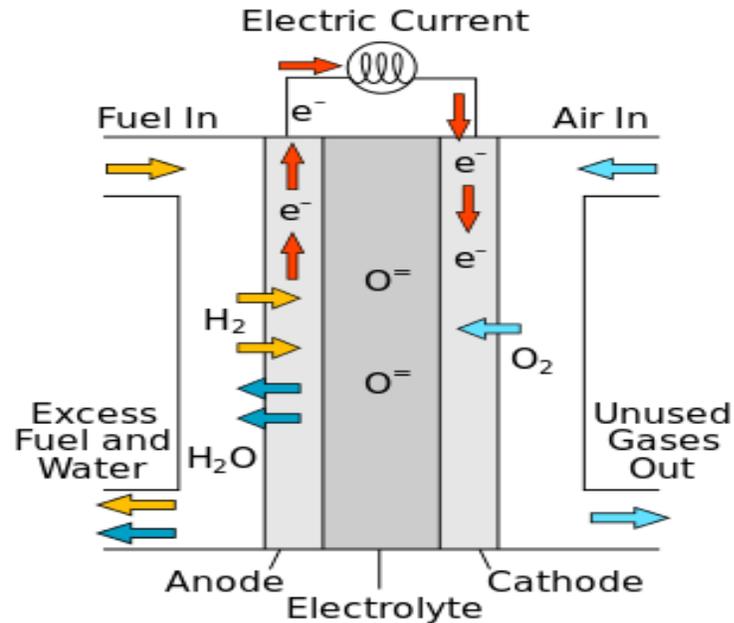
Топливные элементы на протонообменной мембране (ПОМТЭ) (PEMFC proton-exchange membrane fuel cell)

Эти элементы работают при относительно низкой температуре (от комнатной и до примерно 90°C). Разделительной мембраной является протонпроводящий полимер



Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) (SOFC-solid oxide fuel cell)

Эти элементы работают при высокой температуре (600 °C — 900 °C) и электролитом в них служит кислородпроводящий материал.

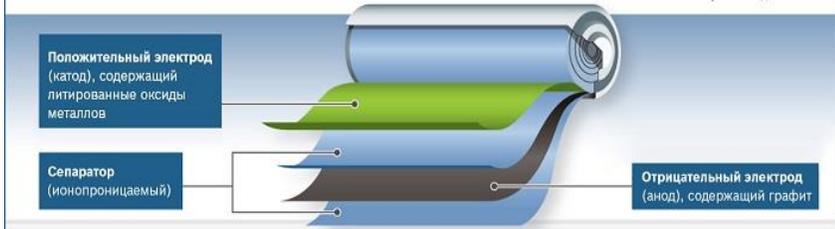


Принцип действия литий-ионного аккумулятора

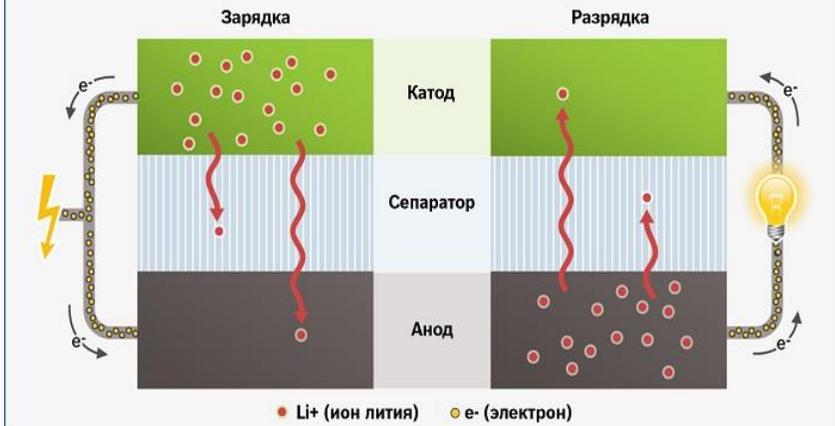
Литий-ионные аккумуляторы обеспечивают быструю скорость зарядки и разрядки



Разработано для жизни



- Во время **зарядки** ионы лития перемещаются к отрицательному электроду. Они сохраняют электроны, полученные из внешнего источника энергии.
- Во время **разрядки** литий теряет электроны в отрицательном электроде. Эти электроны приводят в действие внешнюю зарядку.



Топливные элементы осуществляют превращение химической энергии в электрическую, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Это электрохимическое устройство, которое непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Максимальное КПД такого устройства:

$$\eta = \frac{\Delta G_{\text{реакции}}}{\Delta H_{\text{реакции}}} \approx 84\%$$

Для химреакции в водород-воздушных топливных элементах ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$)

На практике:

КПД ~ 64%,

Ресурсное время работы ~ 30 тысяч часов

Области применения топливных элементов.

Такие устройства охватывает практически все потребности энергорынка:

Стационарные установки мощностью 50-500 кВт и выше, используемые в качестве систем электропитания зданий, источников бесперебойного питания, резервных и аварийных источники электроснабжения, электротранспорт.



Система энергоснабжения дачного поселка (Аляска, США) на основе пяти батарей по 300 кВт производства «ONSI Corporation



Седан [Toyota Mirai](#) – первый серийный водородомобиль
батарея ПОМТЭ на 114 кВт



LADA ELLADA с
батареяй ПОМТЭ
ИПХФ/Инэнерджи



Система резервного электропитания «Астра» с ПОТЭ батареями на 50 кВт производство «Инэнерджи»

Установки 5-150 кВт, применяемые для беспилотных аппаратов, грузоподъемников, железнодорожных рефрижераторов, яхт и т.д.



Суперяхта **Aqua**
на водородном двигателе.



ПЛА (грузоподъемность от 50кг) на водородном двигателе мощностью 18кВт (Китай).



Пилотируемый самолет «Сигма-4» на ТЭ, взлетная масса — 600 кг, мощность — 75 кВт, дальность полета — до 300 км.
ИПХФ/Инэнерджи

Портативные устройства 10-5000 Вт, нашедшие применение в робототехнике, квадрокоптерах и в качестве зарядных устройств смартфонов, ноутбуков и в других различные бытовых электронных устройствах.



Квадрокоптер
на водородном двигателе
мощностью 500Вт и полезной
нагрузкой до 1кг (компания
Horizon).



Робот
на водородном электродвигате
ле мощностью 700Вт
(компания Blue Energy).



Зарядное устройство на
ПОМТЭ мощностью 50Вт для
ноутбуков и смартфонов
(компания Horizon).

ВШЭ (физический факультет)
ПРОГРАММА МАГИСТРАТУРЫ ПО СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»
на базе hi-tech компании «Инэнерджи»

Базовая часть.

Вариативная часть.

•Лекции:

•Протонная проводимость материалов с ограниченным состоянием воды.

Синицын В.В. (Инэнерджи)

Полимеры и катализаторы для водородной энергетики.

Пономарев И.И. (ИНЭОС РАН), Кузнецов В.В. (РХТУ)

Электрохимия твердополимерных топливных элементов и редокс батарей.

Модестов А.Д. (ИФХЭ РАН)

Системы хранения и способы получения водорода.

•Тарасов Б.П. (ИПХФ РАН)

•Конструкционная и функциональная керамика для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ).

•Лысков Н.В. (ИПХФ РАН)

•Ион-проводящие соединения и соединения со смешанной ион-электронной проводимостью для высокотемпературных топливных элементов.

•Истомин С.Я. (МГУ), Укше А.Е. (ИПХФ РАН), Синицын В.В. (Инэнерджи)

Научно-исследовательский семинар «Современные технологии создания ПОМТЭ и ТОТЭ»

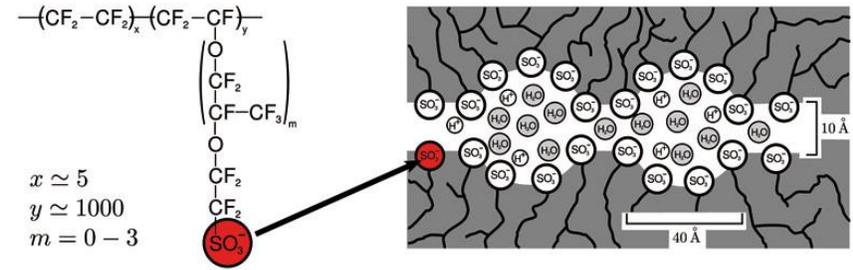
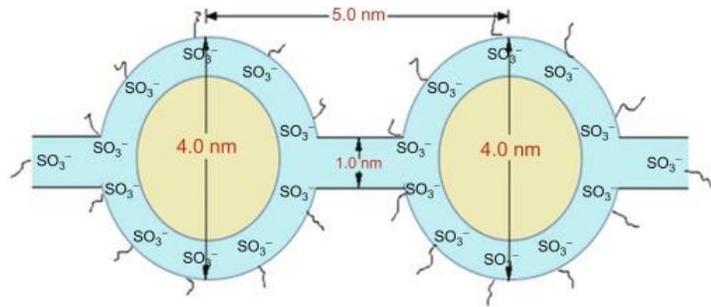
Бредихин (ИФТТ РАН), Мельников (Инэнерджи)

Научно-исследовательский семинар «Компьютерное моделирование топливных элементов. Цифровые двойники ПОМТЭ и ТОТЭ»

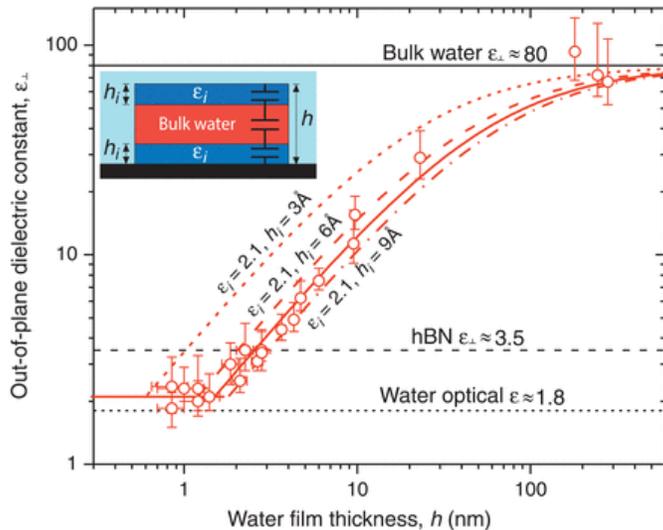
А.Алференок (Инэнерджи)

Структура полимера предполагает наличие водных ионосодержащих кластеров сферической формы диаметром 4 нм, помещенных в паракристаллическую решетку с расстоянием кластеров 5 нм. Эти кластеры связаны узкими каналами диаметром 1 нм, которые имеют решающее значение для протонной проводимости мембран Nafion.

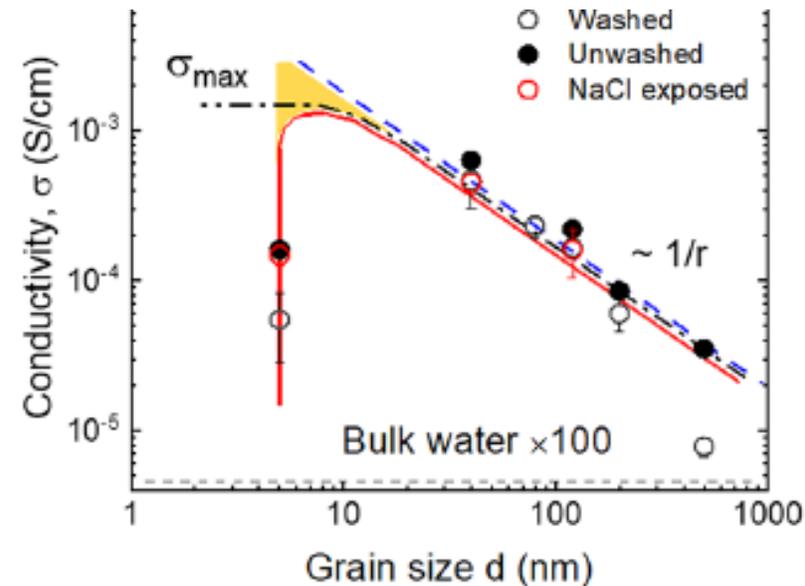
Протонная проводимость (T=25°C) воды: $\sigma = 10^{-6}$ S/cm; Nafion: $\sigma \approx 10^{-1}$ S/cm



Аномальные свойства ограниченной (наноразмерной) воды.



Диэлектрическая проницаемость ограниченной воды в зависимости от толщины образца (L. Fumagalli, et al, Science 360, 1339 (2018))

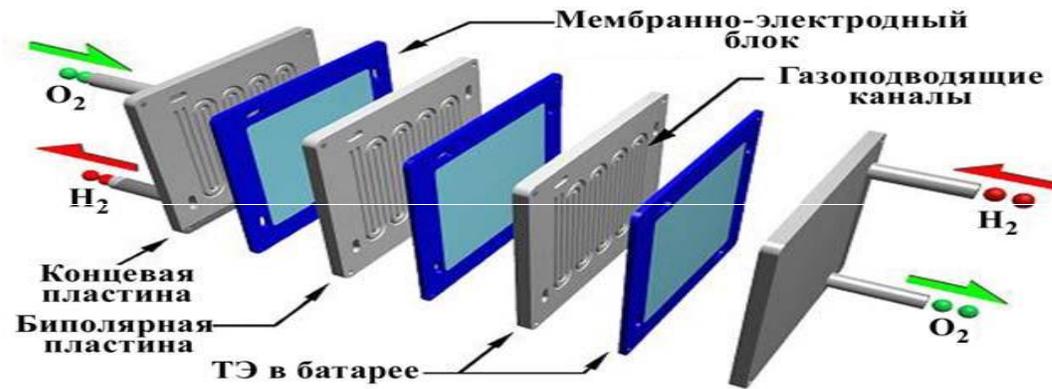


DC проводимость ограниченной воды в зависимости от размера ограничения V. G. Artemov, et al, J. Phys. Chem. Lett., 11, 3623-3628 (2020).

Фундаментальные задачи.

1. Теоретические и экспериментальные исследования свойств ограниченной воды в протонообменных мембранах.
2. Экспериментальные исследования физических свойств соединений с ионной и со смешанной ион-электронной проводимостью.
3. Исследование процессов зарядообмена на гетерофазной границе *ионный проводник-ион/электронный проводник*
4. Компьютерное моделирование процессов ионного транспорта с использованием мультифизического программного комплекса COMSOL.
5. Исследование изотопэффектов на диффузию методом ЯМР.

Задачи прикладного характера



Прикладные исследования.

1. Создание мембранно-электродных блоков (единичные топливные элементы) и изучение их электрохимических характеристик.
2. Создание батарей (стеков)
3. Коммутация МЭБ
4. Отработка режимов нанесения тонкопленочных электролитов и электродных материалов.
5. Исследование СО толерантных катализаторов
6. Создание каталитических чернил на основе безплатиновых катализаторов и отработка режимов их нанесения.
7. Создание «симметричных» микротрубчатых ТОТЭ
8. Изучение размерных эффектов в микротрубчатых ТОТЭ.

Инженерно-технологические задачи

Улучшение функционала работы имеющего оборудования.

Разработка и создание новых установок.

Разработка инженерных решений для работы топливных элементов в условиях различной климатике (Арктика и Антарктика)

Разработка инженерных решений для создания гибридных систем типа *водород-воздушный топливный элемент-солнечная батарея-электролизер-накопитель водорода.*

Разработка инженерных решений для размещения и коммутации топливных элементов в беспилотных летательных аппаратах и на транспортных средствах.

Разработка инженерных решений для спецприменений.

Разработка технологического контроля качества протонообменных мембран.

Разработка технологии автоматизированного нанесения шины на микротрубчатый элемент.

Разработка технологии кофаринга (совместного спекания тонких пленок).

**ВСЕХ ПРИГЛАШАЮ ПОСТУПАТЬ В МАГИСТРАТУРУ
ФИЗФАКА ВШЭ!!!!**

НА СПЕЦИАЛИЗАЦИЮ – «ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА!!!!

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!!