

## **ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на диссертационную работу Галицкой Елены Александровны  
«Исследование протонного транспорта в наноструктурированных перфторированных сульфополимерах», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Галицкая Елена Александровна в 2015 году с отличием окончила курсы магистратуры в рамках совместной образовательной программы между Российской Федерацией и Республикой Казахстан, проходя одновременное обучение в Национальном Исследовательском Томском Политехническом Университете (ТПУ) и в Казахском Национальном Университете им аль-Фараби (КазНУ). В 2015 году поступила в аспирантуру Института физики твердого тела РАН, которую закончила в 2019 году, успешно сдав все кандидатские экзамены. Диссертационная работа была выполнена Галицкой Е.А. в Лаборатории физики высоких давлений ИФТТ РАН, в которой на протяжении нескольких десятилетий успешно проводят исследования как материалов с высокой протонной проводимостью, так и физических свойств воды в различных ее состояниях.

Перед Галицкой Е.А. была поставлена задача по изучению транспортных свойств воды в перфторированных сульфополимерах типа Нафион, где вода находится в ограниченном состоянии, что, безусловно, делает эти полимеры привлекательными для изучения поведения физических свойств воды в наномасштабах. Другой важный аспект интереса к этим материалам связан с их широким и успешным использованием в качестве разделительных протонообменных мембран в топливных элементах, так как их протонная проводимость при комнатной температуре демонстрирует наибольшие значения среди других твердых электролитов. Надо отметить, что до начала этих исследований в литературе имелся большой материал по изучению протонной проводимости и коэффициентов самодиффузии воды в полимерах Нафион производства компании ДюПонт (DuPont). Однако, во-первых, такие исследования были в основном проведены для мембран Нафион, полученных методом экструзии, и, во-вторых, в последние годы появилось около десятка других коммерческих компаний, производящих перфторированные сульфополимеры, отличающиеся от Нафион рядом параметров: проводимостью, влагопоглощением, диаметром наноканалов, процедурой синтеза иономера и технологией производства.

Поэтому на первом этапе, Галицкая Е.А. провела обширные экспериментальные измерения коэффициентов самодиффузии воды в мембранах различных производителей при варьировании температуры и величины гидратации. Анализ полученных результатов показал общность влияния температуры и величины влагосодержания на коэффициент самодиффузии, независимо от параметров мембраны (диаметр наноканалов, толщина образца, способ изготовления и концентрация сульфогрупп).

Для выяснения особенностей микромеханизма самодиффузии, Галицкая Е.А. целенаправленно провела комплексные ЯМР исследования полимерных мембран, содержащих тяжелую воду. Эти исследования показали, что лимитирующей стадией самодиффузии в мембранах типа Нафион является характерное время вращения молекул воды. Как сами экспериментальные исследования, так и полученный вывод был сделан

впервые и является важнейшим шагом в понимании аномальных свойств ограниченной воды.

Отмечу, что другой важной составляющей данной диссертационной работы являются прикладные исследования Галицкой Е.А. по созданию топливных элементов на основе протонообменных мембран с высокой производительностью и низкой временной деградацией. Причем созданный образец топливного элемента мощностью 30Вт в настоящее время внедрен в серийное производство.

Личный вклад Галицкой Е.А. состоит в выполнении всех, описанных в работе экспериментальных исследований, включая обработку всех полученных экспериментальных данных ЯМР, в проведении анализа транспортных характеристик протонообменных мембран на основе разработанной аналитической модели, а также в создании методики ускоренной импульсной активации топливных элементов и сборке образца топливного элемента.

При проведении исследований автор проявила креативность в самостоятельном движении к поставленным целям и высокое умение быстро и эффективно обучаться различным, порой технически весьма сложным, экспериментальным методикам. Галицкая Е.А. является квалифицированным научным работником, умеющим самостоятельно решать сложные научные и технические задачи.

Учитывая вышесказанное, считаю, что данная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, а ее автор Галицкая Елена Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07-физика конденсированного состояния.

Научный руководитель:

д.ф.-м.н. по специальности 01.04.07

Синицын В.В.

Подпись Синицына В.В. заверяю:

Ученый секретарь ИФТТ РАН

Терещенко А.Н.