

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На Франц Елизавету Александровну, представившую диссертацию «Неравновесный электрофорез ионоселективной микрочастицы», на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

В настоящее время электрогидродинамика переживает своё второе рождение, связанное с расширившимися возможностями её практического применения, благодаря миниатюризации многих приборов и промышленных аппаратов. В микромасштабах приводить рабочую жидкость в движение выгодно не давлением, а электрическим полем. Изучение движения микро- и наночастиц в электрическом поле является другим важным направлением электрогидродинамики малых масштабов. В США, Западной Европе и Китае относительно недавно возникло более ста лабораторий, занимающихся указанными проблемами, что определяет как **новизну**, так и **актуальность** проблемы.

Диссертационное исследование Е.А. Франц посвящено аналитическому и численному изучению электрогидродинамических явлений, возникающих при движении сферической ионоселективной микрочастицы, помещенной в раствор электролита, под действием электрического поля. Это довольно сложная задача, которая находится на стыке наук, имеющая также отношение к теории электрических мембран. Эта задача длительное время не была в достаточной степени теоретически изучена, хотя довольно подробное экспериментальное исследование было проведено группой Духина-Мищук. Теоретическое решение было проведено на основе системы уравнений Нернста-Планка-Пуассона-Навье-Стокса. Система Навье-Стокса взята в приближении ползущего течения в силу малости масштабов системы.

При аналитическом исследовании рассмотрены два предельных случая – малой и большой напряженности электрического поля E_∞ при малом числе Дебая ν . В первом случае решение находится с помощью асимптотического

разложения по малым параметрам: E_{∞} и v , и последовательным решением соответствующих уравнений. После обобщения известной формулы Гельмгольца-Смолуховского, **впервые** была получена в замкнутом аналитическом виде зависимость скорости электрофореза от приложенной напряженности электрического поля для ионоселективной частицы в случае малой напряженности электрического поля. При высокой напряженности электрического поля (электрохимии называют этот режим сверхпредельным) вблизи частицы образуются несколько вложенных друг в друга тонких пограничных слоев: дебаевский слой, слой расширенного пространственного заряда и электронейтральный диффузионный слой. Проявив незаурядное математическое мастерство, диссертант **впервые** для решаемой задачи аналитически разрешил эти задачи и нашел скорость электроосмотического скольжения около поверхности частицы. Решение гармонического уравнения для потенциала и бигармонического уравнения для линий тока во внешней электронейтральной зоне замыкало задачу и позволяло **впервые** теоретически найти поля скоростей, концентраций ионов и потенциала во всей исследуемой области и саму скорость электрофореза. Диссертантом также **впервые** была численно решена задача об электрофорезе ионоселективной микрочастицы в широком диапазоне напряженностей внешнего поля. **Впервые** была теоретически уточнена зависимость скорости электрофореза Духина-Мищук от внешних параметров. Как численное, так и аналитические решения (каждое для своего диапазона параметров) полностью совпало с экспериментальными данными из работ С.С. Духина и Н.А. Мищук, что свидетельствует о **достоверности полученных результатов**.

Франц Е.А. был получен ряд **новых результатов**. Наиболее интересным является обнаружение существования специального вида электрогидродинамической неустойчивости, электрокинетической неустойчивости, вблизи поверхности микрочастицы, приводящей к возникновению микровихрей. Уже этот факт, кроме фундаментального значения, имеет **практическое приложение** для создания **новых**

микромиксеров и может быть использован для снятия теплового напряжения в деталях микроустройств.

Помимо вышеуказанного, решение задачи имеет возможность многочисленных **практических приложений**: разделение в электрическом поле макромолекул с разными свойствами, интенсификация электродиализа, преконцентрация аналитов для последующей медицинской диагностики и т.д.

Подчеркну, что полученные численно и аналитически результаты хорошо соотносятся между собой и соответствуют экспериментальным данным, полученным другими авторами. Наряду с этим, использование классических математических методов позволяет судить о **достоверности полученных результатов**.

Выполняя работу Е.А. Франц зарекомендовала себя как квалифицированный специалист, способный самостоятельно решать поставленные нетривиальные задачи, а также способный в ходе работы сам ставить новые задачи для достижения конечной цели.

Основные результаты были неоднократно **апробированы** на международных **конференциях**, обсуждались на семинарах института механики и инженерии университета Бордо и опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных **изданиях, рекомендованных ВАК**, среди которых: Physical Review Fluids, Physics of Fluids, Microgravity Science and Technology, Доклады академии наук. Франц Е.А. является соавтором 18 публикаций по теме диссертационной работы, включая 4 статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК.

Работая над диссертацией, Франц Е.А. принимала активное участие в научно-исследовательских проектах РФФИ, в которых выступала не только в качестве исполнителя, но и в качестве руководителя.

Считаю, что диссертация Франц Е.А. «Неравновесный электрофорез ионоселективной микрочастицы» является завершённым научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор – Франц Елизавета Александровна – достойна

присвоения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы.

Научный руководитель, доктор физ.-мат. наук,
профессор кафедры «прикладная математика»
Кубанского государственного университета
Демёхин Евгений Афанасьевич

Адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149
+7 (861) 219-95-02, edemekhi@gmail.com

Я, Е.А. Демёхин, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Е.А. Демёхин

Подпись Демёхина Е.А. удостоверяю

