

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 537.36

DOI: 10.17223/00213411/63/1/101

А.Ю. ДЕМЬЯНОВ¹, О.Ю. ДИНАРИЕВ², Е.Л. ШАРАБОРИН³

ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРООСМОСА В ТОНКИХ КАНАЛАХ

Рассмотрена разработка расчетно-теоретической методики для изучения электрокинетических явлений, возникающих на границах раздела твердая поверхность – электролит в рамках модели сплошной среды. Основной характерной структурой, возникающей на такой границе, является двойной электрический слой (ДЭС). В системе с такой структурой может возникать среднемассовое движение флюида. Это происходит по причине возникновения дополнительного движения электролита в ДЭС (как вследствие внешнего электрического поля, так и вследствие неоднородных физико-химических свойств поверхности), которое, в свою очередь, через силы трения приводит к указанному течению вне ДЭС. Изучение таких явлений важно для разработки методов интерпретации геофизических исследований скважин, определения электрических свойств кернового материала, а также для различных химических технологий. Продемонстрирован эффект электроосмоса, связанный с адсорбцией ионов электролита на твердой поверхности как при отсутствии, так и при наличии внешнего электрического поля.

Ключевые слова: двойной электрический слой, энергия Гельмгольца, электроосмос, численное моделирование.

Введение

Электрокинетические явления, возникающие на границах различных фаз (электролит – твердая поверхность, электролит – жидкая фаза), играют важную роль во многих задачах коллоидной химии. К ним можно отнести, например, такие эффекты, как электрофорез [1], электроосмос [2], эффект Квинке [3] и эффект Дорна [4]. Все эти эффекты обусловлены наличием ДЭС на границе раздела фаз. В растворе электролита содержатся нейтральные молекулы, а также положительные и отрицательные ионы. Вследствие химической реакции, ионы одного заряда оседают на поверхность и притягивают ионы противоположного заряда за счет кулоновской силы. В результате этого вблизи твердой поверхности образуется ДЭС, состоящий из плотного слоя частиц одного заряда (слоя Штерна) [5] и диффузного слоя [6], локализованного в малой окрестности над твердой поверхностью и имеющего избыток ионов противоположного заряда.

Все перечисленные электрокинетические эффекты тем или иным образом связаны с движениями электролита (как сплошной среды). Поэтому развитие расчетно-теоретической методики, обеспечивающей самосогласованный учет как чисто гидродинамических эффектов при течении смеси (силы давления, вязкой силы, внешней силы, диффузионных потоков), так и сугубо электрокинетических эффектов (ДЭС, адсорбции/десорбции), представляется актуальным.

Такой подход оправдан при рассмотрении масштабов порядка 10–100 нм, где дисперсионные силы играют решающую роль. При размере молекул, не превышающем нескольких ангстремов, становится оправдано применение теории сплошной среды [7, 8]. В дальнейшем мы будем использовать это допущение.

Для описания распределения электрического потенциала может использоваться модель Пуассона – Больцмана, которая является одной из первых теорий, примененных для описания заряженных объектов, погруженных в жидкость [5, 9]. Данная модель предполагает заряды точечными, погруженными в однородную диэлектрическую среду и описывает систему в приближении «среднего» поля (СП). Отсюда – из допущения о точечности зарядов – появляется ограничение на концентрацию ионов, которая должна быть достаточно малой. Наглядная физическая интерпретация приближения СП – это замена парного потенциала взаимодействия каждой частицы с каждым потенциалом, усредненным по объему Дебаевской сферы. Фактически это значит переход от рассмотрения «частиц» к непрерывным концентрациям и потенциалу в точке.

Надо отметить, что существуют и более общие подходы к проблеме поведения большого количества заряженных частиц в электролите над твердой поверхностью, применяемые в настоящее время – это методы молекулярной динамики [10], прямой подсчет конфигурационной части статистической суммы методом Монте-Карло и метод теории функционала плотности [11]. Стоит отметить, что подход сплошной среды и приближение СП, которые применены в настоящей работе,

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>