

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

22.56  
317

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УДК 538.93; 541.133**

**Зайкова Светлана Алексеевна**

**ИОННО-КЛАСТЕРНАЯ СТРУКТУРА ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ СЛОЕВ  
СЛАБОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

01.04.07 – физика конденсированного состояния

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Минск - 2002

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

*Работа выполнена в Гродненском государственном университете имени Янки Купалы*

**Научный руководитель -** доктор физико – математических наук  
профессор Рычков Юрий Михайлович,  
Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы,  
кафедра радиофизики и электроники

**Официальные оппоненты:** доктор физико – математических наук  
профессор Баштовой Виктор Григорьевич,  
Белорусский национальный  
технический университет,  
кафедра ЮНЕСКО “Энергосбережение  
и возобновляемые источники энергии”

доктор физико-математических наук  
профессор Шепелевич Василий Григорьевич,  
Белорусский государственный университет,  
кафедра физики твердого тела

**Оппонирующая организация –** Институт Механики Московского  
государственного университета имени  
М.В. Ломоносова

Защита состоится “15” ноября 2002 г. в на заседании совета по защите  
диссертаций Д02.01.16 при Белорусском государственном университете  
(220050, г. Минск, пр. Ф.Скорины, 4, ауд. № 206 гл. корпуса; телефон  
ученого секретаря 226-55-41).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского  
государственного университета.

Автореферат разослан “8” 10 2002г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций

  
В.Ф. Стельмах

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

1

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Исследования в области изучения строения приэлектродных слоев и пространственных характеристик распределения зарядовых кластеров в коллоидных системах с модифицирующими добавками в республике Беларусь и за рубежом находятся в начальном состоянии. Вместе с тем, анализ литературы показывает большой интерес к данной тематике ведущих научных центров как в СНГ, так и в дальнем зарубежье. К настоящему времени несколькими независимыми экспериментальными методами удалось доказать факт существования зарядовых кластеров в слабопроводящих жидкостях и установить их определяющее влияние на электрогидродинамические эффекты. Предложена также модель строения зарядовых кластеров и ионно-кластерный механизм контактных явлений в жидких слабопроводящих средах. Однако характеристики пространственного распределения зарядовых кластеров в жидкой среде и само строение приэлектродных слоев до сих пор не изучены. В данной работе предложены результаты такого исследования, полученные с помощью комплексной методики, использующей экспериментальные данные нескольких независимых методов: импульсных вольтамперных характеристик, зондовых измерений распределения потенциала и регистрации угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света, прошедшего через слабопроводящую жидкость.

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Работа выполнена на кафедре радиофизики и электроники в Гродненском государственном университете им. Янки Купалы в рамках программы: "Исследование нестационарных электрогидродинамических течений слабопроводящих жидкостей в импульсном электрическом поле" (№ г/р 19982658), финансирование Министерством образования Республики Беларусь, 1998-2000 г.г.; "Разработка импульсных ионно-конвекционных преобразователей (ИКП) для систем тепло- и массообмена, работающих в условиях невесомости" (№ г/р 20011458), финансирование Министерством образования Республики Беларусь, 2001-2003 г.г., "Разработка методов управления вязкостными характеристиками механических жидкостных систем при помощи электрического и магнитного полей" (№ г/р 20013460), финансирование Министерством образования Республики Беларусь, 2001-2003 г.г.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований являлось экспериментальное изучение строения приэлектродных слоев слабопроводящих сред при наложении электрического поля и

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

2

установление закономерностей пространственных характеристик распределения зарядовых кластеров на основе физической картины ионно-кластерной проводимости слабопроводящих жидкостей.

Для достижения указанной цели решались следующие *научные задачи*:

- исследование электрофизических свойств приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей в условиях наложения электрического поля методами: импульсных вольтамперных характеристик, зондовых исследований объемной электризации, измерения угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света.
- разработка комплексной методики одновременного использования экспериментальных данных независимых методов для установления особенностей строения приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей с кластерным механизмом проводимости.
- изучение характеристик пространственного распределения зарядовых кластеров в приэлектродных областях слабопроводящих сред: определение зарядовых чисел и концентрации кластеров в единице объема, размеров кластеров и числа полярных молекул модифицирующей добавки, входящих в состав одного кластера.
- физическое моделирование строения приэлектродного слоя, теоретический расчет ожидаемых физических свойств и их сравнение с экспериментальными данными.

*Объектом* исследования являлись слабопроводящие органические и кремнийорганические термостойкие жидкости, представляющие собой коллоидные системы с добавками модифицирующих полярных веществ в условиях наложения электрического поля.

*Предметом* исследования являлись особенности строения приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей, рассматриваемые на основе ионно-кластерного механизма проводимости слабопроводящих сред.

## **Методология и методы проведенного исследования.**

*Методология* проведенных экспериментальных исследований заключалась в:

1. разработке и использовании экспериментальных данных, полученных несколькими независимыми методами, для изучения структуры приэлектродных слоев на границе раздела металлическая поверхность – слабопроводящая среда;
2. оценке параметров пространственного распределения микропорядоченных (кластерных) областей, возникающих в слабопроводящих жидких средах с ионно-кластерным механизмом проводимости.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

В качестве *методов исследования* были использованы: метод импульсных вольтамперных характеристик – для установления значений концентрации и подвижности носителей заряда, толщины приэлектродного слоя ионной проводимости; зондовый метод измерения пространственного распределения потенциала – для определения закономерностей распределения напряженности электрического поля в приэлектродных областях; метод регистрации угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света, прошедшего в приэлектродной области слабопроводящей жидкости – для определения ширины оптически активной приэлектродной зоны среды, содержащей зарядовые кластеры.

## ***Научная новизна и значимость полученных результатов:***

Научная новизна и значимость работы состоит в следующем:

1. Установлено впервые, что приэлектродные слои слабопроводящей среды неоднородны и оптически активны в приэлектродных слоях жидкостей от 50 мкм до 500 мкм в направлении  $z$ , перпендикулярном поверхности электрода. Впервые показано, что распределение зарядовых кластеров в межэлектродном промежутке, в отличие от модели однородных кластеров, описывается в рамках модели послойного распределения кластеров, различающихся размерами, зарядовым числом, числом полярных молекул добавки в кластере.
2. Впервые разработана и применена комплексная методика двух независимых методов, которая обеспечивает возможность расщепления параметров, выступавших в виде произведения: концентрации кластеров в единице объема  $n_c$  и числа полярных молекул  $N$ . Это позволяет измерить и рассчитать пространственные характеристики распределения зарядовых кластеров в приэлектродных слоях слабопроводящих жидкостей.
3. Полученные результаты являются физической основой принципиально новых способов управления электрической конвекцией слабопроводящих жидкостей и методов оптимизации эксплуатационных свойств электрогидродинамических (ЭГД) преобразователей, электрических контактов фрикционных механизмов, а также основой новых методов диагностики слабопроводящих жидкостей.

## ***Практическая значимость полученных результатов.***

Полученные закономерности и особенности ионно-кластерной структуры приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей углубляют существующие представления о ионно-кластерной структуре и механизме проводимости слабопроводящих жидкостей в электрическом поле.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

4

Полученные результаты являются физической основой принципиально новых способов управления электрической конвекцией слабопроводящих жидкостей и методов оптимизаций эксплуатационных свойств электрогидродинамических преобразователей и электрических контактов фрикционных механизмов, а также новых методов диагностики.

## *Основные положения диссертации, выносимые на защиту:*

1. Установленные закономерности неоднородного распределения электрофизических свойств приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей с ионно-кластерным механизмом проводимости: напряженность электрического поля, изменяющаяся в приэлектродных слоях жидкостей от 20 мкм до 120 мкм, достигает максимального значения на расстоянии 35-50 мкм от электрода. Абсолютные значения угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света при наложении электрического поля в приэлектродных слоях жидкостей от 50 мкм до 450 мкм уменьшаются от 0.1 рад до 0.01 рад в направлении  $z$ , перпендикулярном поверхности электрода.
2. Установленные закономерности структурно-физических свойств модифицированных слабопроводящих жидкостей, состоящие в том, что распределение зарядовых кластеров в межэлектродном промежутке, в отличие от модели однородных кластеров, описывается в рамках модели послойного распределения кластеров, различающихся размерами, зарядовым числом, числом полярных молекул добавки в кластере.
3. Разработанная комплексная методика, основанная на измерении угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света и напряженности электрического поля, позволившая измерить и рассчитать пространственные характеристики распределения зарядовых кластеров в приэлектродных слоях слабопроводящих жидкостей.

**Личный вклад соискателя.** Соискателем лично были проведены экспериментальные исследования строения приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей в электрическом поле методами: импульсных вольтамперных характеристик, зондовыми измерениями распределения электрического потенциала, регистрацией угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света в приэлектродных областях. Разработка комплексной методики, заключающейся в использовании комплекса из независимых методов и позволяющей измерить и рассчитать пространственные характеристики распределения зарядовых кластеров в приэлектродных областях слабопроводящих сред, была проведена соискателем. Научная идея исследования и задачи были сформулированы доктором физико-математических наук, профессором Ю.М. Рычковым.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты экспериментальных исследований ионно-кластерной структуры приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей в электрическом поле, представленные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: на V Международной конференции по современным проблемам электрофизики и электрогидродинамики жидкостей (г. Санкт-Петербург, 22-26 июня 1998 г.); на I-ом Международном симпозиуме “Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах” (г. Минск, 14-16 мая 2000 г.); на VI Международной конференции по современным проблемам электрофизики и электрогидродинамики жидкостей (г. Санкт-Петербург, 27-30 июня 2000 г.); на Международной конференции. 2-nd International Workshop on Electrical Conduction, Convection and Breakdown in Fluids (Grenoble, 2000);

**Опубликованность результатов.** Результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах, среди которых 7 статей (две в научных журналах и пять в сборниках статей по материалам международных конференций), одни тезисы доклада в сборнике по материалам конференции, проводимой в России. Общий объем опубликованных материалов составляет 21 стр.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, четырех приложений. Общий объем работы составляет 96 страниц, в том числе 21 рисунок на 21 странице, 4 приложения на 4 страницах и список использованных источников, включающий 139 наименований, на 11 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В общей характеристике работы** дано обоснование актуальности темы диссертации, определены цель, задачи и методы исследования, сформулирована научная новизна, практическая значимость полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** носит обзорный характер. Рассмотрены теоретические и экспериментальные исследования физических особенностей жидких сред, содержащих микропорядоченные структуры; процессов, происходящих в жидких слабопроводящих средах при наложении электрического поля; возникновение в объеме ионно-молекулярных (кластерных) структур и всех связанных с этим явлений.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

### *Статьи в журналах*

Зайкова С.А., Кропачева Л. В., Рычков Ю.М. Электрофизические характеристики приэлектродных слоев жидких диэлектриков на металлических поверхностях // Вести НАН РБ. Сер. физ.-мат. наук. – 1999. - №4. - С. 5-8.

Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Кластерная структура приэлектродного слоя в жидких диэлектриках // Инженерно-физический журнал. – 2000. – Т. 73, № 4. – С. 827-832.

### *Материалы конференций*

Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Экспериментальное определение пространственного распределения зарядовых кластеров в изолирующих жидкостях // Соврем. проблемы электродинам. и электрофиз. ж-тей: Тез. докл. V Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 22-26 июня 1998 г. / Санкт-Петербургский государственный технический университет. - Петродворец, 1998. – С. 62-64.

Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Вращение плоскости поляризации света в жидких диэлектриках // Соврем. проблемы электродинам. и электрофиз. ж-тей: Тез. докл. V Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 22-26 июня 1998 г. / Санкт-Петербургский государственный технический университет. - Петродворец, 1998. – С.67-69.

Rychkov Yu.M., Zaykova S.A., Vasilevich A.E. Experimental studies of the characteristics of charge clusters in weakly conducting liquids // Electrical Conduction, Convection and Breakdown in Fluids: Сб. науч. ст. / Universite Joseph Fourier. – Grenoble: Elsevier Science, 2000. – P. 67-70.

Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Пространственные характеристики зарядовых кластеров в жидких диэлектриках // Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах: Тез. докл. науч. конф., Минск, 14-16 мая 2000 г. / Белорусский государственный университет. - Минск, 2000. – С. 91-94.

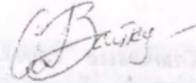
Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Структура приэлектродного слоя в жидких диэлектриках // Соврем. проблемы электродинам. и электрофиз. ж-тей: Тез. докл. VI Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 27-30 июня 2000 г. / Санкт-Петербургский государственный технический университет. - Петродворец, 2000. – С.101-104.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

17

## *Тезисы докладов конференций*

8. Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Метод экспериментального определения объемной оптической анизотропии жидких диэлектриков в реальном времени // Современ. проблемы электродинам. и электрофиз. ж-тей: Тез. докл. V Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 22-26 июня 1998 г. / Санкт-Петербургский государственный технический университет. - Петродворец, 1998. - С. 65-66.



## РЕЗЮМЕ

Зайкова Светлана Алексеевна

### ИОННО-КЛАСТЕРНАЯ СТРУКТУРА ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ СЛОЕВ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

**Ключевые слова:** кластер, ионно-кластерная проводимость, приэлектродный слой, слабопроводящая среда, модифицирующая добавка.

**Объектом** исследования являлись слабопроводящие органические и кремнийорганические термостойкие жидкости, представляющие собой коллоидные системы с добавками модифицирующих полярных веществ в условиях наложения электрического поля.

**Предметом** исследования являлись особенности строения приэлектродных слоев слабопроводящих жидкостей, рассматриваемые на основе ионно-кластерного механизма проводимости слабопроводящих сред.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований являлось экспериментальное изучение строения приэлектродных слоев слабопроводящих сред при наложении электрического поля и установление закономерностей пространственных характеристик распределения зарядовых кластеров на основе физической картины ионно-кластерной проводимости слабопроводящих жидкостей.

В качестве **методов исследования** были использованы: метод импульсных вольтамперных характеристик, зондовый метод измерения пространственного распределения потенциала, метод регистрации угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света, прошедшего в приэлектродной области слабопроводящей.

**Результаты работы:** обнаруженные в результате исследований закономерности и особенности электрофизических свойств приэлектродных слоев модифицированных слабопроводящих жидкостей подтверждают применимость предлагаемой в работе структурно-физической модели, учитывающей послынное распределение зарядовых кластеров, различающихся размерами, зарядовым числом, числом полярных молекул добавки в центральной части кластера. Полученные экспериментальные данные являются физической основой создания устройств нового типа для управления электрической конвекцией слабопроводящих жидкостей.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

19

## Р Э З Ю М Е

Зайкова Святлана Аляксееуна

### ЇЕННА-КЛАСТЭРНАЯ СТРУКТУРА ПРЫЭЛЕКТРОДНЫХ СЛАЁУ СЛАБАПРАВODЗЯЧЫХ ВАДКАСЦЕЙ У ЭЛЕКТРЫЧНЫМ ПОЛІ

**Ключавыя словы:** кластэр, іённа-кластэрная праводнасць, прыэлектродны слой, слабаправодзячае асяроддзе, мадзіфіцыруючая дабаўка.

**Аб'ектам даследвання** з'явіліся слабаправодзячыя арганічныя і крэмніаарганічныя тэрмастойкія вадкасці, якія уяўляюць сабой калоідныя сістэмы з дабаўкамі мадзіфікуючых палярных рэчываў ва умовах прыкладзенага электрычнага поля.

**Прадметам даследвання** з'явіліся асаблівасці будовы прыэлектродных слаёў слабаправодзячых вадкасцей, якія разглядаюцца на аснове іённа-кластэрнага механізму праводнасці слабаправодзячых асяроддзяў.

**Мэты і задачы даследвання:** эксперыментальнае вивучэнне будовы прыэлектродных слаёў слабаправодзячых асяроддзяў ва умовах прыкладзенага электрычнага поля і удакладненні заканамернасцей прасторавых характарыстык размеркавання зарадавых кластэраў на аснове фізічнай карціны іённа-кластэрнай праводнасці слабаправодзячых вадкасцей. У якасці метадаў даследвання былі выкарыстаны: метады імпульсных вольтамперных характарыстык, зондавы метады вымярэння прасторавага размеркавання патэнцыялу, метады рэгістрацыі вугла павароту плоскасці палярызацыі лінейна палярызаванага святла, прайшоўшага праз прыэлектродную вобласць слабаправодзячай вадкасці.

**Вынікі працы:** выяўленыя у выніку эксперыментальных даследванняў заканамернасці і асаблівасці электрафізічных якасцей прыэлектродных слаёў мадыфікаваных слабаправодзячых вадкасцей пацвярджаюць прымяненне прапанаванай у рабоце структурна-фізічнай мадэлі, улічваючай паслойнае размеркаванне зарадавых кластэраў, якія адрозніваюцца памерамі, зарадавым лікам, лікам палярных маласкул дабаўкі у цэнтральнай частцы кластэра. Атрыманыя эксперыментальныя дадзеныя з'яўляюцца фізічнай асновай стварэння прыстасавання новага тыпу для кіравання электрычнай канвекцыяй слабаправодзячых вадкасцей.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

20

## SUMMARY

Zaykova Svetlana Alekseevna

### ION-CLUSTERS STRUCTURE OF NEAR-ELECTRODE LAYERS OF WEAKLY CONDUCTING LIQUIDS IN THE ELECTRIC FIELD

**Key words:** cluster, ion-clusters conductivity, near-electrode layer, weakly conducting environment, modification additive.

**Objects of investigation** was weakly conducting organic and siliconorganic thermoform liquids are colloid systems with the additional of modification polar substances in the conditions of applied of the electric field.

**Subject of investigation** was the special structure of near-electrode layers of gently conducting liquids, examined on the base of ion-clusters mechanism of conducting of weakly conducting medium.

**Goal of the work** is the experimental study of the structure of near-electrode layers of weakly conducting medium with applied of the electric field and ascertain of the objective laws of space characteristics of the distribution of charge clusters on the base of physical picture of ion-clusters conducting of weakly conducting liquids.

**The method of investigation** used was the method of impulse volt-ampere characteristics, zond method of measuring of the space distribution potential, the method of corner registration of the plane turning of polarization of linear polarized light, having come through near-electrode field of weakly conducting.

**The result of the work:** the objective laws and special futures of electro-physical features of near-electrode layers of weakly conducting liquids found out in the result of investigation prove the use fullness of the structural-physical model suggested in the work which takes into account the layer distribution of charge clusters, differing in size, charge number, a number of polar molecule of the addition in the central part of cluster. The obtained experimental facts (figures, information) are the physical base for the formation of new types of constructions for the operation by the electric convection of gently conducting liquids.

# ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Отпечатано на УП «Технопринт», ЛП № 203 от 28.01.1998 г.  
Усл. печ. л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ 1169.  
220027, г. Минск, пр-т Ф. Скорины, 65, корп. 14, оф. 317.  
Тел./факс 231-86-93.