

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

**Комарова Кирилла Алексеевича**

**«Регулируемое взаимодействие коллоидных частиц во внешних полях»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности

1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Предметом исследования в представленной диссертационной работе является широкий класс многокомпонентных сред, образованных дисперсией коллоидных микрочастиц в жидком носителе, и управляемых с помощью внешних электрических или магнитных полей. Многообразие рассмотренных типов взаимодействий и компонентного состава сред делает их чрезвычайно интересными как в качестве самостоятельных объектов, так и в качестве систем, моделирующих поведение и структуру молекулярных систем.

### **1. Актуальность темы диссертации.**

Классической проблемой физики конденсированного состояния является связь между структурой конденсированных веществ, их макроскопическими физическими свойствами, наблюдаемыми коллективными явлениями и характером межчастичных взаимодействий при заданных внешних условиях. С этой точки зрения особой ценностью обладают модельные системы – коллоидные дисперсии и комплексные жидкости, – которые позволяют изучать механизмы, управляющие коллективными явлениями (структурные переходы, транспорт, самоорганизация) на фундаментальном уровне. Особенность таких систем состоит в возможности за счет управляющих внешних полей (магнитных, электрических) создавать микроструктурную упорядоченность, изменять интенсивность и даже характер межчастичного взаимодействия и процессов структурообразования, что позволяет в явном виде моделировать связи между структурой, свойствами и межчастичными взаимодействиями в композитной среде. Выявление новых закономерностей взаимосвязи микроструктуры, коллективной динамики и макроскопических физических свойств в системах с регулируемым внешними силовыми полями межчастичным взаимодействием на основе теоретических и вычислительных исследований с использованием коллоидных суспензий и комплексных жидкостей представляет собой актуальную научную проблему физики конденсированного состояния.

Изучение таких сред с учетом возможности регулирования их поведения магнитным или электрическим полем может дать новое понимание закономерностей влияния свойств отдельных составляющих композитной

среды на свойства и коллективную динамику системы в целом, что представляет исключительную важность на современном этапе развития физики мягкой конденсированной материи.

## **2. Основные результаты диссертационного исследования и их новизна.**

Основная идея, заложенная в основу диссертационной работы Комарова К.А. состоит в том, что изучение дисперсных систем с регулируемыми межчастичными взаимодействиями открывает путь к пониманию комплекса явлений коллективной динамики и микроструктурной упорядоченности в дисперсных средах и молекулярных системах. Для этого автором проведены подробные теоретические и вычислительные исследования, созданы модели межчастичных взаимодействий и показана их корреляция с реальными системами и экспериментальными результатами.

В этом направлении автором работы впервые получены следующие оригинальные результаты:

- Разработана численная модель регулируемого взаимодействия между коллоидными частицами произвольной формы. Построено численное решение задачи взаимодействия таких частиц во внешних плоских и конических электрических полях, которое учитывает взаимную поляризацию близко расположенных частиц.
- На основе методов теории возмущений построена модель самосогласованных точечных диполей применительно к регулируемым коллоидным системам и разработана диаграммная техника для дипольного взаимодействия общего вида. В частности, предложен многочастичный потенциал взаимодействия для сферически-симметричных коллоидных частиц.
- Установлено влияние вида годографа приложенного поля на профиль регулируемого взаимодействия частиц и предложен способ генерации эквивалентных взаимодействий при помощи различных пространственных годографов.
- Построен парный потенциал регулируемого взаимодействия для случая анизотропных коллоидных частиц, в частности рассмотрены симметричные эллипсоидальные частицы, и проанализированы эффекты неаддитивности взаимодействия в таких системах с помощью диаграммного подхода.
- На основе выполненных расчетов показано, что изменение внутреннего строения дисперсных частиц предоставляет дополнительные возможности

для модификации характера регулируемых взаимодействий во вращающихся электрических и магнитных полях.

### **3. Теоретическая и практическая значимость работы.**

В диссертации разработан подход к исследованию микроструктуры композиционных сред во внешних силовых полях. Развитые в работе теоретические методы и подходы могут быть использованы как для анализа существующих композиционных функциональных материалов, так и для предсказания свойств новых материалов, имеющих аналогичную структуру. Закономерности, установленные в работе, могут стать основой для создания новых функциональных устройств на основе комплексных сред.

### **4. Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов.**

Обоснованность научных положений обеспечивается высоким уровнем проведенных теоретических и вычислительных исследований, применением современных методик, а также адекватных аналитических и численных методов. Ряд результатов работы согласуется с известными фактами для подобных систем. Достоверность полученных результатов гарантируется обоснованным выбором физических приближений, детальным анализом результатов исследований на основе аналитических расчетов, согласием проведенных вычислений с данными сторонних экспериментов. Результаты, представленные диссертантом, хорошо известны научному сообществу, они опубликованы в ведущих реферируемых международных научных журналах и представлялись на конференциях высокого уровня, что также подтверждает достоверность выводов диссертации.

### **5. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации.**

Представленная Комаровым К.А. диссертационная работа оформлена в соответствии с предъявляемыми требованиями, она состоит из шести глав, включает введение, заключение и список литературы. Объем работы составляет 183 страницы текста, в том числе 40 рисунков и 2 таблицы. Список литературных источников содержит 148 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы основные цели работы, приведены основные положения, выносимые на защиту. В дополнении к этому, в данном разделе обсуждаются вопросы, связанные с теоретической и практической ценностью, методологией исследования, указан список научных конференций,

симпозиумов и семинаров, на которых докладывались результаты данной диссертации.

Глава 1 посвящена обзору наиболее важных результатов в области процессов структурообразования и межчастичных взаимодействий в коллоидных системах.

Глава 2 посвящена задаче численного расчета регулируемого взаимодействия в системе сферически-симметричных частиц, находящихся во внешних полях.

В главе 3 носит центральный характер и посвящена построению теории возмущений и диаграммной технике для модели самосогласованных точечных диполей.

Глава 4 описывает применение диаграммного метода к системе сферически-симметричных коллоидных частиц, регулируемой внешним обобщенным полем.

В главе 5 дается применение модели возмущенных самосогласованных точечных диполей и диаграммного метода для теоретического описания регулируемого взаимодействия анизотропных коллоидных частиц.

В главе 6 рассматриваются численные решения задачи расчета регулируемого взаимодействия в системе сферически-симметричных композитных частиц, находящихся во внешних электрических полях.

Диссертационная работа завершается общим заключением и списком литературных источников.

Содержание автореферата Комарова К.А. полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа написана хорошим профессиональным языком. По теме диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также входящих в базы данных Web of Science, Scopus. Основные результаты диссертации прошли необходимую апробацию.

Изложенные в диссертации материалы соответствуют п. 2 «Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы»; п. 5 «Разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения» паспорта научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

## 6. Замечания по содержанию диссертации.

В целом работа Комарова К.А. оставляет исключительно положительное впечатление, к методам и полученным в работе основным результатам принципиальных замечаний нет. Однако по тексту работу могут быть сделаны следующие замечания:

– В работе не вполне четко очерчены границы применимости рассматриваемых моделей, адекватность их применения к реальным системам практически не анализируется, а лишь констатируется. Например, на стр. 43 утверждается, что «...рассматриваются регулируемые взаимодействия, индуцированные (относительно) слабыми электрическими полями...». При этом какие поля и по какому критерию относятся к слабым не уточняется. Понятно, что автор имеет виду пренебрежение нелинейными эффектами. Однако, например, эффект Квинке вращения коллоидных частиц в электрическом поле проявляется в зависимости от соотношения характерного времени релаксации заряда и вязкости среды; электрическое поле в данном случае не обязательно должно быть сильным, при этом, очевидно, подобные эффекты в данном исследовании не рассматриваются.

– В продолжение предыдущего замечания можно также отметить, что при рассмотрении взаимодействий коллоидных частиц автором пренебрегается рядом эффектов. К этому разряду относятся, например, гидрофобные взаимодействия, которые могут проявляться в реальных системах. Аналогичная ситуация имеет место с гидродинамическими взаимодействиям, которые должны проявлять себя, например, в рассматриваемой в Главе 5 системе ротаторов. Понятно, что основной акцент автор делает на рассмотрении взаимодействий поляризационного происхождения, однако, каково относительное влияние в изучаемых процессах эффектов, оставленных за рамками изучения, оказывается не вполне очевидным.

– В работе рассматриваются среды, являющиеся идеальными диэлектриками. При этом переход к комплексным проницаемостям и векторам поля в квазистационарном приближении позволяет сохранить неизменным весь математический формализм и при этом проанализировать хотя бы некоторую часть эффектов, связанных с проводимостью сред.

– Не вполне понятна следующая формулировка автора: «Для расчета энергии взаимодействия в регулируемой коллоидной системе соотношение (1.12) становится неприменимым, и для ее определения необходимо учитывать изменение потенциальной энергии частицы при внесении ее в

систему из бесконечно удаленной точки, с помощью соотношения (1.27)». Дело в том, что значения моментов самосогласованных диполей с учетом взаимного влияния являются решением системы линейных уравнений, и эти значения затем входят в выражение (1.12) для энергии их взаимодействия. Почему при этом формула (1.12) становится неприменимой?

– Требуется уточнения формулировка «...потенциал ПДМ никогда не сходится к строгому решению...». Судя по графикам, представленным, например, на рис. 2.1, при расстояниях  $r > 2d$ , все представленные кривые фактически неотличимы друг от друга.

– В тексте диссертации имеется ряд стилистических и орфографических неточностей: на стр. 10 «...рассчитанные модельные потенциал для...»; на стр. 40 «...на внутренних границ между...»; на стр. 44 нумерация формул содержит опечатки и др.

Перечисленные неточности носят в основном технический характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

## **7. Заключение.**

Диссертация Комарова Кирилла Алексеевича «Регулируемое взаимодействие коллоидных частиц во внешних полях» выполнена на высоком научном уровне. Совокупность результатов, представленных в диссертации, позволяет утверждать о решении важной научной задачи в области физики конденсированного состояния. Результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах, хорошо известны научному сообществу и имеют высокий уровень цитируемости. В диссертации изложен ряд важных методических и теоретических разработок и результатов по перспективным материалам коллоидной природы, которые могут обеспечить существенный вклад в развитие фундаментальной теории конденсированного состояния. Автореферат и публикации автора достаточно полно отражают содержание диссертации. Диссертационная работа Комарова К.А. соответствует научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. По актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и значимости диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу. В диссертации рассмотрен ряд актуальных проблем, представляющих прикладную и фундаментальную ценность, решение которых в совокупности можно квалифицировать как решение научной задачи, имеющей значение для развития физики конденсированного состояния.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что диссертационная работа Комарова Кирилла Алексеевича «Регулируемое взаимодействие коллоидных частиц во внешних полях» полностью удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в ред. от 01.10.2018 г., с изм. от 26.05.2020), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Комаров Кирилл Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния (физико-математические науки).

Я, Закинян Артур Робертович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой теоретической  
и математической физики,  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Северо-Кавказский федеральный университет»  
доктор физ.-мат. наук  
(специальность 01.04.07 – Физика  
конденсированного состояния), доцент

Закинян Артур Робертович

Адрес: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1  
Тел.: (8652) 33-02-83  
e-mail: azakinian@ncfu.ru

Дата подписания отзыва: «24» сентября 2021 г.

ПОДПИСЬ  
УДОСТОВЕРЯЮ  
начальник Управления  
делами СКФУ

*Закинян А.Р.*

Логачева А.В.