

ОТЗЫВ

официального оппонента Аксеновой Елены Валентиновны на диссертационную работу Петрова Данила Александровича «Ориентационные фазовые переходы в жидкокристаллических суспензиях дипольных и квадрупольных наночастиц», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Жидкие кристаллы и жидкокристаллические суспензии — это объекты, которые занимают промежуточное положение между жидкостями и твердыми телами. В силу того, что в жидких кристаллах силы межмолекулярного взаимодействия значительно слабее, чем в твердых телах, в них наблюдаются явления, которые в обычных кристаллах, как правило, очень трудно наблюдать. В частности, очень сильно развиты флуктуации, в хиральных объектах аномально велика оптическая активность и т. п. Поэтому сам объект исследования представляет общефизический интерес, кроме того, жидкие кристаллы находят очень широкое практическое применение в системах отображения и передачи информации, технике, медицине, фармакологии. Для реализации более эффективных практических приложений требуются те исследования, которые представлены в настоящей диссертации.

Актуальность выбранной темы обусловлена уникальными свойствами исследуемых объектов и широкими возможностями их применения. Так, например, развитие области, касающейся двуосных жидких кристаллов и суспензий на их основе, обещает открыть новое поколение дисплеев и других электрооптических устройств, так как появится возможность контролировать ориентацию молекул сразу в двух направлениях, а не в одном. Решение теоретических проблем в физике жидких кристаллов в настоящее время является необходимой основой для решения принципиальных технологических проблем, таких как увеличение углового разрешения ЖК-мониторов, качество изображения, увеличение скорости переориентации жидкокристаллических структур и т. д. Несмотря на скептические разговоры о дальнейшем использовании жидких кристаллов в средствах отображения информации, крупнейшие компании по созданию дисплеев, такие как «ВОЕ Technology Group», продолжают гонку по созданию дисплеев высочайшего качества на основе именно жидких кристаллов. В связи с фундаментальной и прикладной значимостью изучаемых явлений в современных жидкокристаллических элементах систем оптического отображения информации полученные в настоящей диссертации результаты представляются актуальными. Эти результаты нацелены на получение информации о новых фазах жидких кристаллов, а также переходах между этими фазами. Выводы о способах управления ориентационной структурой жидкокристаллических композитов с помощью внешнего поля создают предпосылки для управления магнитооптическим откликом таких систем. Это может дать толчок в данной области науки к исследованию ячеек жидких кристаллов новым методом.

Структура диссертации стандартна. Она включает в себя введение, в котором сформулированы цель работы и положения, выносимые на защиту, пять глав, каждая из которых содержит оригинальные результаты. Завершает работу краткое заключение, в котором суммируются полученные автором результаты.

Первая глава, помимо сведений об известных молекулярно-статистических теориях жидких кристаллов, содержит оригинальные результаты. В этой главе строятся развитые автором новые молекулярно-статистические теории жидкокристаллических суспензий дипольных и квадрупольных наночастиц, а также обобщенная континуальная теория суспензий дипольных и квадрупольных частиц в нематических жидких кристаллах. Полученные здесь достаточно общие выражения используются в последующих главах диссертации.

Во второй главе автором построен тензорный вариант молекулярно-статистической теории среднего поля для жидкокристаллических суспензий анизометричных магнитных наночастиц. В качестве гамильтониана здесь рассмотрен гамильтониан суспензии с конечной энергией сцепления магнитных частиц с жидкокристаллической матрицей. Впервые показано, что по сравнению с обычной моделью среднего поля сферическая модель перенормирует температуру перехода и дает меньшее значение параметра порядка в точке перехода из упорядоченной фазы в изотропную. Также к новым результатам относится анализ влияния магнитного поля на температурные фазовые переходы между сильно- и слабоупорядоченными фазами в рассматриваемой суспензии.

В третьей главе автором исследована молекулярно-статистическая теория для систем, состоящих из нематической матрицы и углеродных нанотрубок, представляющих собой квадрупольные частицы. Особенно интересные новые результаты здесь получены для случая нематического жидкого кристалла, обладающего отрицательной анизотропией магнитной восприимчивости. Автором проанализированы фазовые диаграммы такой системы, причем исследовано поведение в зависимости от целого ряда параметров: магнитного поля, температуры, концентрации нанотрубок и энергии сцепления. Такой подробный анализ стал возможным благодаря построенной автором молекулярно-статистической теории для рассматриваемой системы. Автором исследован двусный характер ориентационного упорядочения нанотрубок в нематической матрице. Здесь новыми результатами являются полученные зависимости параметра двусности нанотрубок от величины магнитного поля для разных значений энергии сцепления молекул нематика и нанотрубок.

В четвертой главе разрабатывается континуальная теория для систем, состоящих из нематической матрицы и углеродных нанотрубок. Автором изучено поведение такой системы в магнитном поле. Здесь получены интересные результаты, касающиеся эффекта сегрегации нанотрубок — накопления примеси в той области образца, которая соответствует минимуму энергии примеси. Эффект сегрегации нанотрубок в нематической матрице впервые был предсказан автором. Также впервые была показана возможность смены характера перехода Фредерикса от непрерывного к первому роду, при этом характер перехода зависит от интенсивности сегрегационных эффектов. Автором выполнены расчеты магнитооптического отклика. Эти расчеты показывают наличие оптической бистабильности рассматриваемой суспензии. Этот результат особенно интересен с точки зрения практических приложений.

Пятая глава диссертации посвящена построению континуальной теории ориентационных переходов в компенсированных (с нулевой начальной намагниченностью) и намагниченных жидкокристаллических суспензиях наностержней гетита. Большое внимание здесь уделено сравнению теоретических построений с

экспериментальными данными. Автору удалось получить уравнения для распределения ориентации и на их основе рассчитать электрические емкости ячеек с суспензиями обоих рассматриваемых типов. Построенная автором теория показала повышение порога перехода Фредерикса в компенсированной суспензии по сравнению с аналогичным порогом в нематической матрице. Для намагниченной суспензии теория предсказывает беспороговый переход во внешнем магнитном поле. Оба этих результата нашли экспериментальное подтверждение. Эта глава диссертации показывает, что задел по построению континуальных и молекулярно-статистических теорий, разработанных автором, позволяет анализировать достаточно широкий спектр жидкокристаллических суспензий, что является несомненным достоинством представленной диссертации.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что диссертация обладает необходимой новизной.

Диссертация представляет собой законченное исследование. Автором были построены теоретические модели и выполнены численные расчеты для жидкокристаллических суспензий дипольных и квадрупольных наночастиц. Результаты по фазовым переходам в жидкокристаллических суспензиях, полученные автором теоретически, нашли подтверждение в экспериментальных работах. Также установлено хорошее совпадение теоретических и экспериментальных результатов для жидкокристаллических суспензий гетитовых наностержней. Все это придает диссертации необходимую достоверность.

Наряду с несомненной общенаучной значимостью, результаты работы представляют практический интерес. Детальные фазовые диаграммы для жидкокристаллических суспензий могут послужить основой для разработки новых магнитооптических устройств и устройств отображения информации.

Обсуждаемая работа не свободна от недостатков. Часть из этих недостатков относятся к области оформления. Текст диссертации и автореферата написан достаточно хорошим и понятным языком. Каждая глава хорошо скомпонована: содержит постановку задачи и основные результаты, что помогает разобраться в проведенных автором исследованиях. Но, на мой, взгляд, автореферат слишком подробно описывает содержание диссертации. Также в тексте диссертации попадаются досадные опечатки. Например, на стр. 57 «земановская энергия», а не зеэмановская. Система обозначений несколько перегружена, однако, это оправдывается сложностью рассматриваемых систем. Возможно, список основных обозначений был бы нелишним.

Есть и замечания, касающиеся содержания. В третьей главе получено представление свободной энергии суспензии нанотрубок в нематической матрице в форме разложения Ландау по степеням параметра порядка. Автор ограничивается здесь учетом членов четвертого порядка. Однако для описания фазовых переходов первого рода разложение строят вплоть до членов шестого порядка. Хотелось бы прояснить, почему в данном случае члены шестого порядка не учитываются.

В диссертации многие результаты получены в обезразмеренном виде. Такой подход бывает удобным, например, при дальнейших численных расчетах. Однако несколько непривычен и затрудняет понимание некоторых результатов.

Хорошо было бы уделить больше внимания исследованию влияния хиральности на ориентационные фазовые переходы в жидких кристаллах. Также представляет

несомненный интерес изучение влияния электрического поля на ориентационные фазовые переходы. Здесь имеется ряд интересных особенностей, например, возникающая неоднородность электрического поля внутри ячейки. В случае электрического поля заметно расширяется спектр практических приложений. Возможно, это может стать направлениями дальнейших исследований.

Вместе с тем совершенно ясно, что отмеченные недостатки не являются принципиальными и поэтому они не меняют общую положительную оценку диссертации. Диссертация выполнена на высоком научном уровне с использованием современного аппарата статистической физики. Обоснованность научных положений и выводов не вызывает сомнений. Работа прошла представительную апробацию. Ее основные результаты докладывались на многочисленных международных конференциях и опубликованы в отечественных и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций. Перечень публикаций содержит 34 наименования. Автореферат диссертации адекватно отражает ее основное содержание.

Сказанное выше позволяет утверждать, что диссертационная работа «Ориентационные фазовые переходы в жидкокристаллических суспензиях дипольных и квадрупольных наночастиц» удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учетных степеней УрФУ» и соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Автор диссертации, Петров Данил Александрович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

исполняющий обязанности заведующего кафедрой статистической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» доктор физико-математических наук

Аксенова Елена Валентиновна

« 6 » июня 2024 г.

198504, г. Санкт-Петербург, Петергоф, ул. Ульяновская, д. 1

Тел.: (812) 428-45-15; e-mail: e.aksenova@spbu.ru

Личную подпись
Е.В. Аксенова
заверяю
И.О. начальника отдела кадров
И.И. Константинова



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей

Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.htm>