

РГБ ОД  
12 ИЮН 1998

На правах рукописи

**ПАРШИН**

Александр Михайлович

**ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ТЕМАТНКОВ С ОГРАНИЧИВАЮЩИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ В СИЛЬНОМ  
МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Специальность 01.04.14 – теплофизика и молекулярная физика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико – математических наук

Красноярск 1998

Работа выполнена в Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Научные руководители:

член-корреспондент РАН,

доктор физико-математических наук,

профессор

Шабанов В.Ф.

доктор физико-математических наук

Хрусталев Б.П.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,

профессор

Ветров С.Я.

кандидат физико-математических наук

Дрокин Н.А.

Ведущая организация:

Институт теоретической и прикладной  
механики СО РАН (г. Новосибирск)

Защита состоится «18» июня 1998 г. в 14 часов в аудитории Г 2-22 на заседании диссертационного совета Д 064.54.02 в Красноярском государственном техническом университете по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26. Тел. (8-3912)49-79-90; 49-76-19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГТУ.

Отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, с подписью составителя, заверенный гербовой печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Автореферат разослан «18» мая 1998 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент



П.Н. Сильченко

Актуальность темы. Развитие физики ориентационных и фазовых переходов ортотропных нематических жидких кристаллах (НЖК) и возросший интерес в асти их практических применений требуют новых знаний о поверхностных йствах, связанных с влиянием дисперсионных, упругих, полярных и др. сил на зотропное молекулярное взаимодействие нематических жидких кристаллов матиков) с ограничивающими поверхностями. Исследование влияния рхностных сил в жидких кристаллах является важной физической проблемой, как благодаря упорядоченному молекулярному строению жидкого кристалла яние границы раздела фаз передается на большие расстояния в объем и еделает его термодинамические свойства. Основными параметрами, ысывающими молекулярное взаимодействие НЖК с твердыми стенками, являются легкого ориентирования, заданная на поверхности, углы, характеризующие пределение поля директора нематика, находящегося в деформированном тоянии под воздействием стенок или внешних полей, энергия сцепления молекул К с поверхностями. Знание указанных величин позволяет управлять пороговыми актеристиками жидкокристаллических ячеек, задавать их оптимальные аметры, способствовать созданию элементов дисплеев на основе НЖК с ыаемыми свойствами.

Исследование ориентационных эффектов в НЖК под действием внешних нитных полей является актуальным, поскольку в большинстве практических чаев НЖК находятся в деформированном состоянии внешним полем, и будет обствовать более глубокому пониманию природы процессов, происходящих на ннице раздела двух фаз и их влияния на объемные свойства в упорядоченных екулярных средах.

Целью данной работы явилось:

кспериментальное определение энергии сцепления планарных молекулярных ев нематиков с твердыми поверхностями из критических полей перехода едерикса и насыщения.

исследование распределения поля директора в планарных молекулярных слоях К, деформированных внешним магнитным полем, а также температурное еменение параметров сцепления.

- Исследование влияния полярных вкладов в поверхностный потенциал, описывающий анизотропное взаимодействие молекул нематиков с поверхностями.

Научная новизна. 1. Впервые реализовано экспериментальное разрешение пороговых полей перехода Фредерикса для планарно ориентированных молекулярных слоев НЖК, позволившее рассчитать энергию сцепления нематика с поверхностью.

2. Обнаружено, что полярные силы при взаимодействии молекул нематика 5СБ с обработанными стеклянными поверхностями не влияют на распределение полей вдали от температуры фазового перехода НЖК - изотропная жидкость изменяет угол ориентации директора на поверхности при ее повышении.

3. Реализован метод экспериментального определения углов ориентации нематического директора и энергии сцепления НЖК в ячейках с двумя плоскими оптически анизотропными поверхностями, основанный на изменении дихроизма изолированной полосы примесного электронного поглощения молекул красителя при структурных молекулярных превращениях ЖК в магнитном поле (эффект «гость-хозяин»).

4. Создана установка сильного стационарного магнитного поля. Реализовано экспериментальное разрешение пороговых полей перехода Фредерикса в ячейках слабым сцеплением молекул нематика с поверхностью, и впервые определена энергия сцепления планарного слоя МБА с поверхностью сегнетоэлектрического кристалла ТГС.

5. Впервые экспериментально реализован режим насыщения в ЖК ячейках в сильном магнитном поле, и из критического поля рассчитано эффективное значение энергии сцепления планарно ориентированного слоя молекул МБА с поверхностью сегнетоэлектрического кристалла ТГС.

6. Впервые в условиях одного эксперимента получены значения энергии сцепления как из пороговых полей перехода Фредерикса, так и поля насыщения; сравнение данных значений позволило обнаружить влияние эффектов поверхности поляризации на анизотропное молекулярное взаимодействие нематиков с сегнетоэлектрическими поверхностями.

На защиту выносятся следующие положения:

Взаимодействие планарных слоев молекул нематика 5ЦБ с различными способами обработанными стеклянными поверхностями описывается в рамках «электрических» коррекций потенциала РП.

Температурное изменение энергии сцепления планарных молекулярных слоев 5ЦБ с неполярными стеклянными поверхностями связано с изменением поверхностного параметра порядка нематика.

Изменение энергии сцепления планарных молекулярных слоев 5ЦБ со стеклянными поверхностями, содержащими  $Si-OH$  группы или покрытые адипиновой кислотой сопровождается изменением углов ориентации нематического директора в центре и на поверхности ЖК ячейки.

Энергия сцепления планарно ориентированных молекулярных слоев нематика 5ЦБ с неполярными стеклянными поверхностями составляет  $0.2 \text{ эрг/см}^2$ .

Энергия сцепления планарно ориентированных молекулярных слоев нематика МБА на поверхности сколов сегнетоэлектрика ТГС составляет  $2.1 \cdot 10^{-2} \text{ эрг/см}^2$ .

Существенное различие значений энергии сцепления, полученных из критических магнитных полей перехода Фредерикса и насыщения связано с поверхностной поляризацией.

#### Достоверность результатов:

Параметры анизотропного взаимодействия молекулярных слоев нематиков с ориентирующими поверхностями определялись с помощью магнитного поля. Использование магнитного поля, в отличие от электрического, позволило избежать побочных эффектов, связанных с появлением пространственного заряда, электропроводности и др. и не учитывать дополнительные факторы в эксперименте.

Характерен порядок величины  $W_2$ , полученный в магнитном поле. Ее величина выше значения  $W_2 \sim 10^{-2} \text{ эрг/см}^2$ , полученного в работе /1/ для гомеотропной ориентации на обработанной ПАВ стеклянной подложке, что подтверждает факт более жесткого сцепления планарного слоя НЖК с поверхностью. Ее величина также выше значения  $W_2 \sim 4 \cdot 10^{-2} \text{ эрг/см}^2$  для 5ЦБ на  $SiO$  напыленных стеклянных подложках в работе /2/. По-видимому, полученный результат

является более достоверным, чем в цитируемой работе, в которой [1] определялась, во-первых, в электрическом поле, а во-вторых, в условиях, которые могут привести к градиенту параметра порядка в приповерхностной области ЖК.

- Значение энергии сцепления молекулярных слоев МББА с поверхностями сколов сегнетоэлектрического кристалла ТГС практически совпадает с значением  $W_2$ , полученным в эксперименте по малоугловому рассеянию света в планарных слоях МББА на поверхностях стекла, покрытых полимерными пленками [3]/  $W_2 = (1.0 \pm 0.5) \cdot 10^{-4} \text{ эрг/см}^2$ . Полученное значение  $W_2$  также близко к значению  $\sim 2 \cdot 10^{-4} \text{ эрг/см}^2$ , представленному в работе [4] для МББА на поверхности стекла, покрытого углеродной пленкой.
- Значение эффективной энергии сцепления  $W_2 = (2.1 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} \text{ эрг/см}^2$  получено непосредственно из магнитного поля насыщения без использования подгоночной процедуры.
- Расчетное значение углов ориентации нематического директора в центре и на поверхности ЖК ячеек с использованием потенциала РП подобны полученным в работе [5] для гомеотропного слоя молекул нематика на обработанных стеклянных поверхностях.

Практическая ценность. В работе реализовано применение сил стационарных магнитных полей для получения информации об ориентационных эффектах в НЖК. Возможно использование ячеек с сильным сцеплением молекул нематиков с поверхностями в качестве датчиков магнитного поля. Использование методики на основе эффекта «гость – хозяин» может найти применение в кристаллографии для идентификации кристаллографических осей кристаллов, обладающих оптической активностью.

Личный вклад соискателя включает участие в создании установки, получение сильного стационарного магнитного поля, выполнение в экспериментальных исследованиях, участие в постановке задач и интерпретации экспериментальных данных.

Апробация Основные результаты работы были представлены и суждальсь на II всесоюзном семинаре «Оптика жидких кристаллов» (Красноярск, 90); XIII Международной конференции по жидким кристаллам (Ванкувер, Канада, 90 г.); Европейской конференции по жидким кристаллам (Вильнюс, Латвия, 1991); VII международной конференции по оптике жидких кристаллов (Хеспельгейм, Германия, 1997 г.).

Публикации По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, список которых приведен в конце реферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Объем диссертации составляет 155 страниц, включая 36 рисунков, и библиографический список, содержащий 125 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко обосновывается актуальность данной работы, дается научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, формулируется основная цель работы.

В первой главе рассмотрены и обобщены содержащиеся в литературе сведения о поверхностных явлениях в ЖК. Показано, что взаимодействие нематиков с ограничивающими поверхностями обусловлено влиянием короткодействующих сил, связанных с поверхностным натяжением, анизотропно – упругих, ван-дер-Ваальсовых дисперсионных далекодействующих сил и их конкуренцией. Отмечена важность учета влияния полярных сил на анизотропное взаимодействие нематиков с поверхностями. Полярные силы приводят либо к диполь – дипольному взаимодействию НЖК – твердая стенка, либо к поверхностной поляризации, обусловленной упорядочением молекулярных диполей в приповерхностном слое ЖК. Рассмотрен ряд механизмов, связанных с проявлением полярных сил и их конкуренцией с силами неполярной природы. Отмечена важная роль электрического поля в поверхностных явлениях НЖК.

Рассмотрено несколько различных форм поверхностного потенциала взаимодействия НЖК с поверхностями: потенциал Раппини – Популара (РП),

описывающий неполярное взаимодействие, более обобщенная феноменологическая форма, представленная в виде разложения поверхностной энергии по четным полиномам Лежандра, и потенциал Парсонса, учитывающий конкурирующее влияние полярных и квадрупольных вкладов в поверхностную энергию. Обсуждается концепция «электрических» коррекций потенциала РП, заключающаяся в ее корректировке различными вкладами, учитывающими полярные поверхностные эффекты и приводящая к перенормировке входящих в него параметров. Вводятся параметры анизотропного взаимодействия молекул НЖК с поверхностями.

Кратко анализируются предшествующие работы по определению параметров анизотропного взаимодействия нематиков с поверхностями с учетом полярных и неполярных вкладов в поверхностную энергию. Выделен метод определения энергии сцепления, связанный с деформацией нематиков внешним полем [6]. Отдает предпочтение магнитному полю по сравнению с электрическим.

Приведенный анализ показал, что влияние полярных и неполярных вкладов в поверхностную энергию изучено недостаточно для планарно ориентированных слоев нематиков. Это связано с тем обстоятельством, что методика определения параметров сцепления из пороговых полей перехода Фредерикса оказалась малоэффективной для более жесткого сцепления с поверхностью планарного слоя НЖК по сравнению с гомеотропным, а из магнитных полей насыщения трудноосуществимой из-за необходимости использования сильных магнитных полей в эксперименте. Определение данных параметров другими методами связано с существенными ошибками в измерениях, либо требует учета множества дополнительных факторов.

Не было исследовано изменение углов ориентации директора в планарно ориентированных слоях НЖК, деформированного внешним магнитным полем и изменение с температурой. Такая информация необходима для решения вопроса о корректном выборе потенциала, описывающего анизотропное взаимодействие нематика с твердой стенкой.

Не было ясного понимания, влияет ли вообще поверхностная поляризация обусловленная упорядочением молекулярных диполей НЖК (или их проекций на длинные оси молекул) на анизотропное взаимодействие нематиков

ориентирующими стенками. Теоретически показано, что такая поляризация имеет место во всех случаях контакта НЖК с ограничивающими поверхностями. Однако, ее влияние можно обнаружить только при наличии сильного электрического поля подложки. Попытка обнаружить полярные эффекты в планарных слоях нематика с сегнетоэлектрической поверхностью не привела к положительному результату из-за экспериментальной сложности определения энергии сцепления с оптически анизотропными поверхностями [7].

В связи с этим в задачу данной работы входило исследование анизотропного взаимодействия планарно ориентированных слоев нематиков с ограничивающими твердыми стенками и влияния на него полярных и неполярных сил, возникающих в приповерхностной области. Для решения данной задачи предполагалось:

- Определение энергии сцепления планарных слоев НЖК с различным способом обработанными поверхностями, допускающими полярное и неполярное взаимодействие исходя из возможности экспериментального разрешения пороговых полей перехода Фредерикса в тонких слоях нематиков и, следовательно, в сильном магнитном поле.

- Исследование изменения углов ориентации директора нематика на данных поверхностях в магнитном поле в широком температурном интервале с целью проверки концепции «электрических» коррекций потенциала РП в условиях полярного взаимодействия планарных слоев нематика с ориентирующей поверхностью.

- Использование методики, основанной на эффекте «гость – хозяин», позволяющей избежать влияние двулучепреломления подложек на экспериментальные результаты, для определения параметров анизотропного взаимодействия планарного слоя нематика МББА с поверхностью сколов сегнетоэлектрика ТТС.

- Определение энергии сцепления планарного слоя молекул МББА с поверхностью скола ТТС как из порогового поля Фредерикса, так и из поля насыщения исходя из предполагаемого слабого сцепления нематика с поверхностью для данного сочетания ЖК – подложка.

- Исследование изменения углов ориентации директора нематика на сегнетоэлектрических поверхностях в магнитном поле с целью проверки концепции

«электрических» коррекций потенциала РП в условиях конкурирующего влияния с на поверхности.

Во второй главе дано обоснование выбора объектов исследования необходимых для решения поставленной задачи, и описаны экспериментальные методики и установки для исследования анизотропного взаимодействия нематикоповерхностями. В качестве объектов исследования были выбраны хорошо изученные нематикополярными концевыми группами. Для исследований было приготовлено три типа обработанных поверхностей: А - после натирания подложки промывались в кипящем ацетоне и кипящем гексане и высушивались в вакуумном шкафу; В - после натирания подложка выдерживалась в течение одного часа в одномолярном растворе КОН при 50°C, а затем высушивалась горячим паром изопропилового спирта; С - натирание подложки производилось со смоченную спиртовым раствором адипиновой кислоты бумагу с последующей промывкой ее в кипящем ацетоне и кипящем гексане и высушиванием в вакуумном шкафу.

В эксперименте на оптически анизотропных поверхностях в МББА вводился антрахиноновый краситель КД-10 с большой величиной дихроизма  $\sim 7.7$ . Максимум поглощения красителя совпадал с длиной волны гелий-неонового лазера.

В качестве ориентирующих поверхностей использовались подложки кварцевого стекла и сколов сегнетоэлектрического кристалла триглицинсульфата (ТГС). Стеклоподложки обрабатывались тремя различными способами для получения планарной ориентации 5ЦБ с полярным и неполярным взаимодействием нематика с поверхностью. Нематик, заключенный между двумя такими поверхностями образует ячейку сэндвического типа. Параметры ячейки и качество ориентации НЖК контролировалось поляризационно-оптическими методами. В данной работе впервые использованы ячейки МББА, заключенные между двумя соосно ориентированными сколами ТГС. Ячейки собирались так, чтобы области доменов одного знака, кристаллографические оси ТГС и направления директора верхней и нижней пластинок совпадали. Для этого идентифицировались типы доменов ТГС и определялись направления ориентации директора нематика относительно кристаллографических осей на пластинках. Описанный способ

еделения угла ориентации МББА на «+» доменах ТГС имеет самостоятельное значение.

Для измерений критических магнитных полей и углов ориентации НЖК при этни автора была создана установка сильного стационарного магнитного поля мощностью 7,5 МВт. Установка позволяет генерировать магнитное поле в соленоиде Геревского типа [8] до 120 кЭ. Рабочий канал соленоида диаметром 36 мм и длиной 400 мм позволял проводить исследования образца, помещенного в его центр. Регистрации излучения лазера, прошедшего через слой ЖК. Образец помещался в магнетирующую вставку для защиты его от тепла, выделяемого в соленоиде. Контроль температуры образца осуществлялся с помощью медь – константановой пары с точностью  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ . Регистрация магнитного поля осуществлялась с помощью датчика Холла типа ПХЭ с линейной характеристикой в диапазоне до 150 Т. Информация о состоянии образца получалась с помощью поляризационно – оптической установки, расположенной в непосредственной близости от магнита.

Измерения пороговых полей перехода Фредерикса и углов ориентации оптического директора в ячейках с изотропными стеклянными подложками проводились по двулучепреломлению прошедшего через образец лазерного излучения. Поскольку толщина слоя НЖК варьировалась в широких пределах, для измерения пороговых полей в нематических пленках амплитуда полученного сигнала сравнительно мала. Поэтому использовалась модуляционная методика с синхронным детектированием, позволяющая относить сигнал – шум. Применение пластинки  $\lambda/4$  и анализатора в сочетании с компенсацией начальной фазовой задержки при нулевом магнитном поле позволило ориентированных образцов позволило определить пороговые поля перехода Фредерикса непосредственно по скачку оптического пропускания ЖК.

Измерения по двулучепреломлению затруднены в ячейках со сколами ТГС ввиду существенного двулучепреломления сегнетоэлектрического кристалла. Ситуация усложняется ещё более сложной при изучении планарных нематических слоев между перпендикулярно ориентированными подложками. В таких ячейках регистрировалась одна компонента света, поляризованного вдоль оси оптической индикатрисы пластинки. Измерения проводились на полосе поглощения гелий - неоновом лазере,

совпадающей с максимумом полосы поглощения красителя КД-10, введенного нематическую матрицу. При этом регистрировалось непрерывное изменение интенсивности прошедшего через образец лазерного излучения, поляризованно параллельно директору, за счет изменения интенсивности примесного поглощения молекул МББА при структурных превращениях, индуцированных внешним магнитным полем. Большая величина дихроизма вызывает соответствующее изменение интенсивности пропущенного через образец света.

В третьей главе приведены результаты исследований анизотропного взаимодействия нематика с ограничивающими стеклянными поверхностями. Приведены зависимости интенсивности света  $I$ , обусловленные изменением двулучепреломления, от магнитного поля  $H$  для ячеек 5ЦБ с различными способами обработанными поверхностями. При температуре 23°C зависимости носят пороговый характер и имеют наклон, соответствующий различной энергии сцепления.

Представлена «толщинная» зависимость пороговых магнитных полей для ячеек  $d = 1.31 \div 1.92$  мкм с различной поверхностной обработкой (рис.1).

Реализовано экспериментальное разрешение пороговых полей перехода Фредерикса и определена энергия сцепления  $W_2$  для неполярного взаимодействия нематика с поверхностью. Методика определения энергии сцепления основана на различии между реальным пороговым полем  $H_{th}$  и рассчитанным для бесконечного сцепления  $H_{th}^{\infty}$ . Различие растет с уменьшением толщины слоя НЖЛ соответствующем увеличению магнитного поля, необходимого для переориентации нематического директора. Этим обосновывается необходимость использования сильного магнитного поля в эксперименте. Надежное разрешение  $H_{th}$  достигнуто в ячейках с  $d \leq 3$  мкм. Значение  $W_2 = 0.2$  эрг/см<sup>2</sup> подтверждает факт более сильного сцепления планарного слоя нематика по сравнению с гомеотропным.

Обнаружено отсутствие селективной ионной адсорбции в планарных слоях на неполярных стеклянных поверхностях, поскольку экспериментальные точки рис.1 совпадают с теоретической кривой, соответствующей конечному значению энергии сцепления.

Отсутствие экспериментального разрешения пороговых магнитных полей в ячейках 5ЦБ со стеклянными, содержащими силанольные  $Si-OH$  группы или обработанными ПАВ (адипиновой кислотой) под планарную ориентацию верхними, вдали от температуры фазового перехода нематик – изотропная жидкость, свидетельствует о влиянии полярных сил на энергию сцепления НЖК – жидкая стенка. При этом ориентация директора нематика в приповерхностном слое остается неизменной ввиду выраженного порогового характера зависимостей  $I(H)$ .

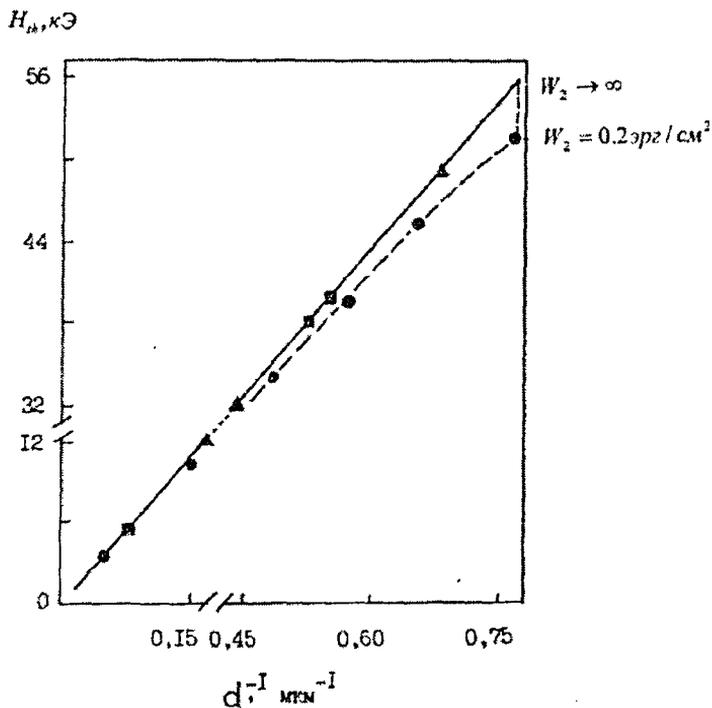


Рис.1. «Толщинная» зависимость пороговых полей перехода Фредерикса ЦБ при температуре 23°C в плоскопараллельных ячейках с поверхностной обработкой типа А (●), В (■), С (▲).

В окрестности порогового поля перехода Фредерикса исследовано распределение директора в ЖК ячейках 5ЦБ с различными способами обработки поверхностями при температуре 23°C. Численными методами рассчитана зависимость углов ориентации директора в центре и на поверхности нематического слоя. Из совпадения экспериментальных точек и теоретических кривых для случаев обработки подложек следует, что взаимодействие нематика с твердыми поверхностями описывается потенциалом РП с перенормировкой входящих в него коэффициентов для учета полярных сил, то есть в рамках концепции «электрических» коррекций РП.

Исследовано изменение зависимостей  $I(H)$  с ростом температуры. Зависимости носят выраженный пороговый характер во всем температурном интервале для неполярного взаимодействия нематика с поверхностью. Это позволяет построить температурную зависимость пороговых полей перехода Фредерикса (рис.2). Зависимость показывает, как стремится к нулю анизотропная часть поверхностной энергии по мере приближения к температуре перехода нематик изотропную жидкость. Значение  $W_2$  убывает при этом примерно в 6 раз. Оказалось, что отношение  $W_2 / \Delta\chi^2$  практически не зависит от температуры (при  $T - T_{NI} \leq 2$ ), что подтверждает модель, предсказывающую снижение энергии сцепления нематиков с неполярными поверхностями за счет снижения поверхностного параметра порядка  $/9/$ . В случае полярного взаимодействия 5ЦБ со стеклянными поверхностями наблюдалось «размывание» пороговых зависимостей  $I(H)$  с ростом температуры, что свидетельствует о температурной зависимости угла ориентации директора в нематическом слое.

В четвертой главе приведены исследования НЖК с полярной поверхностью сегнетоэлектрического кристалла.

Представлены зависимости интенсивности света  $I$ , обусловленные изменением примесного поглощения, от магнитного поля  $H$  для ячеек МББА, заключенных между двумя соосно ориентированными поверхностями сколов ТГС, содержащих «-» или «+» домены.

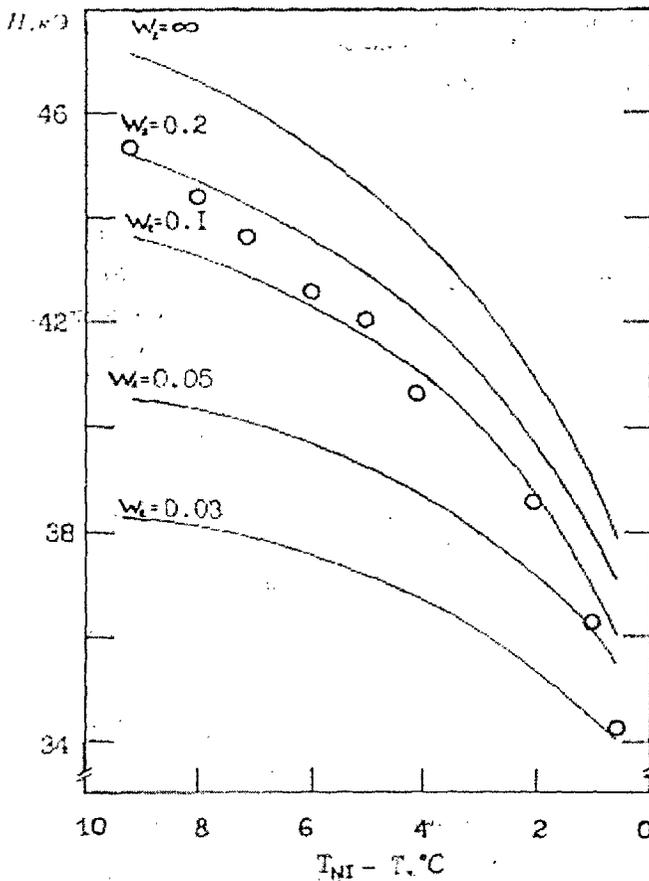


Рис.2. Температурная зависимость пороговых полей перехода Фредерикса для ячейки толщиной 1.54 мкм с поверхностной обработкой типа А. Сплошные линии представляют пороговые поля, рассчитанные по методике РП для различных значений энергии сцепления.

Из порогового поля  $H_{th}$  определена энергия сцепления  $W_2$  с поверхностью « домена ТГС. При этом реализовано экспериментальное разрешение порогового поля поскольку значение  $W_2 = (1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$  эрг/см<sup>2</sup> мало и характерно для анизотропного взаимодействия нематика с твердой стенкой в условиях конкурирующего влияния сил на поверхности.

Обнаружено отсутствие флексоэлектрического эффекта в планарных слоях МБЕ на полярной поверхности ТГС, поскольку зависимости  $I(H)$  для «-» и «+» доменных образцов практически совпадают, что свидетельствует о независимости энергии сцепления нематика с сегнетоэлектрической поверхностью от знака электрического поля подложки.

Выбранное сочетание нематик – подложка МББА – ТГС позволило достигнуть режима насыщения ЖК текстуры в реально достижимом магнитном поле. На рис.3. представлена зависимость интенсивности  $I$ , обусловленной изменением примесного поглощения МББА, от магнитного поля  $H$ , в виде диаграммы: самописца. Как видно из рисунка, интенсивность  $I$  изменяется между двумя реперными значениями  $I_{//}$  и  $I_{\perp}$ , соответствующими пропусканию планарного образца при ориентации директора параллельно и перпендикулярно направлению прошедшего через образец света  $e$ . Резкое начальное отклонение кривой  $I(H)$  от нуля соответствует пороговому полю перехода Фредерикса, величина которого  $H_{th} = 62.4$  кЭ. В области сильных полей зависимость  $I(H)$  приближается к реперу  $I_{\perp}$  и достигает его при некотором критическом поле  $H = 62.4$  кЭ. Поскольку перпендикулярные компоненты интенсивности пропускания для планарной гомеотропной ориентаций ЖК равны, то по-видимому, это критическое поле соответствует полю насыщения  $H_{sat}$ . Об этом же свидетельствует отсутствие изменения интенсивности сигнала при изменении ориентации вектора поляризации из положения  $e // c$  в положение  $e \perp c$ , что характерно для гомеотропной текстуры ЖК. Таким образом магнитное поле, приложенное к образцу, переводит его в

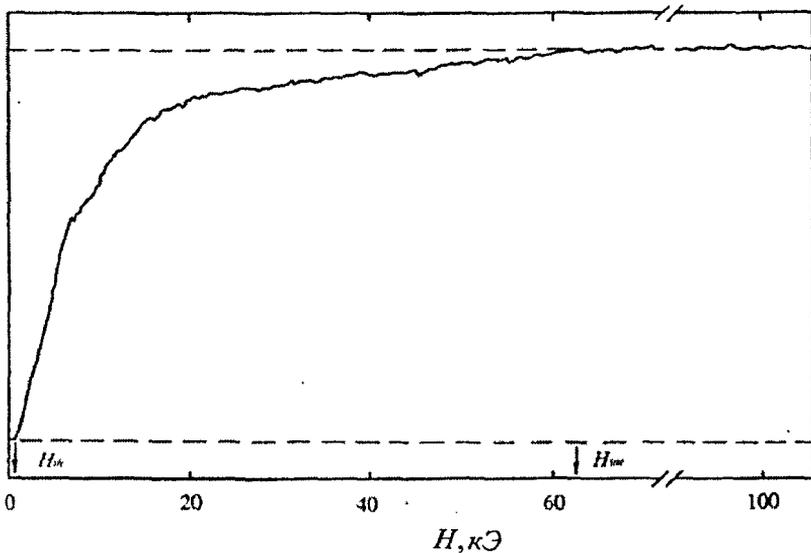


Рис.3. Обусловленная изменением примесного поглощения зависимость интенсивности прошедшего через ячейку света от магнитного поля  $H$  для «-» доменного образца МБА на ТГС при полной переориентации директора нематика из планарного в гомеотропное состояние.  $I_{\parallel}, I_{\perp}$  - интенсивности света, поляризованного параллельно и перпендикулярно директору.

гомеотропное состояние. При дальнейшем увеличении магнитного поля до 100 кЭ кривая  $I(H)$  не отклоняется от реперного уровня  $I_{\perp}$ . Асимптотический характер зависимости  $I(H)$  приводит к ошибке определения поля насыщения, с учетом которой  $H_{sat} = (62.4 \pm 1.6)$  кЭ. Из порогового поля определена эффективная энергия сцепления  $W^* = (2.1 \pm 0.1) \cdot 10^{-2}$  эрг/см<sup>2</sup>.

Таким образом, в данной работе параметры  $W_2$  и  $W^*$  определены одновременно в условиях одного эксперимента. Различие параметров на два порядка является неожиданным, так как, согласно концепции «электрических» коррекций,

поверхностный потенциал в форме РП должен оставаться корректным для больших отклонений директора нематика от первоначальной ориентации [10].

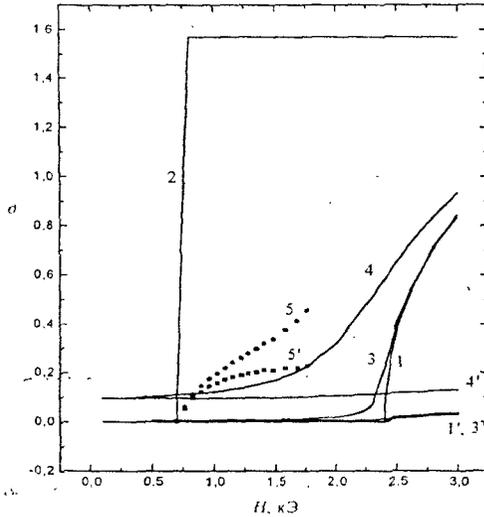


Рис.4. Зависимости углов деформации директора  $\theta_m$  и  $\theta_s$  ( $^\circ$ ) от магнитного поля  $H$ : а) кривые 1,1' и 2,2' построены с потенциалом  $\sim W_2 \sin^2 \theta$ ; б) кривые 3,3' и 4,4' - с потенциалом  $\sim -W_1 \sin \theta + W_2 \sin^2 \theta$ ; в) точки 5 и 5' получены из эксперимента.

В окрестности порогового поля перехода Фредерикса исследовано распределение поля директора в ячейках МББА на «-» доменах. ТГС при температуре  $23^\circ\text{C}$ . Численными методами рассчитаны зависимости углов ориентации директора в центре и на поверхности нематического слоя (рис.4). Из рисунка видно, что зависимости 1, 1' носят ординарный характер. В случае 2 углы  $\theta_m$ ,  $\theta_s$  сливаются, т.е. нематический слой должен переориентироваться как целое. При этом критические поля были бы близки, что не наблюдается в эксперименте. Зависимости 3, 3' и 4, 4' показывают, что линейный член  $W_1 \cos \theta$  потенциала «плавит» переход

Фредерикса, при определенной величине  $n_1$  приводя к равномерному наклону по ячейке  $\theta \approx \theta_{\text{пр}} \approx \theta_s$ , что также не соответствует эксперименту, поскольку форма перехода Фредерикса носит выраженный пороговый характер. Видно, что экспериментальные значения углов, не зависящие от формы потенциала поверхностного взаимодействия, не находят объяснения в рамках приближения РП, коррелируют с моделью Парсонса. Необычное поведение поверхностного угла  $\theta$  ( $5^\circ$ ) для сравнительно толстой ячейки ( $\sim 30$  мкм), характерное скорее для тонкого образца. С учетом данного факта слабая корреляция эксперимента с приближением Парсонса может быть объяснена преднаклоном поверхностного директора, индуцированным дипольной поляризацией ЖК в приповерхностном слое и, следовательно, несоответствием используемой нами модели потенциала процедуре минимизации свободной энергии по методике РП. Следует отметить, что в случае полного сцепления с преднаклоном поверхностного директора анизотропное взаимодействие нематика с поверхностью по порогу Фредерикса проявляет себя как слабое сцепление.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Создана установка сильного стационарного магнитного поля и реализована для исследования ориентационных эффектов и поверхностных свойств жидких кристаллов.

Определены пороговые поля перехода Фредерикса для планарно ориентированных молекулярных слоев нематика 5СБ на ориентированных различными способами стеклянных поверхностях. Реализовано экспериментальное разрешение пороговых полей в тонких пленках нематиков на неполярных стеклянных подложках в сильном магнитном поле, позволившее рассчитать энергию сцепления нематика с поверхностью. Показано отсутствие экспериментального разрешения порогового поля в ячейках с другими способами обработанными подложками, допускающими полярное взаимодействие нематика с поверхностью.

3. Исследовано изменение углов ориентации в центре и на поверхности план ориентированных молекулярных слоев нематика 5ЦБ на обработанных стеклянных подложках в окрестности порогового поля Фредерикса вдали температуры фазового перехода нематик – изотропная жидкость. Подтверждена справедливость концепции «электрических» коррекций потенциала РП описания полярного взаимодействия нематика с поверхностью. Показано отсутствие селективной ионной адсорбции в планарных слоях 5ЦБ неполярных стеклянных подложках из «толщинной» зависимости пороговых полей перехода Фредерикса.
4. Обнаружено изменение углов ориентации директора в поверхностном молекулярном слое 5ЦБ на стеклянных подложках с ростом температуры. Характерное для полярного взаимодействия нематика с поверхностью изменение обусловлено «размыванием» пороговых полей перехода Фредерикса. Подтверждена модель, предсказывающая снижение энергии сцепления нематиков с неполярными поверхностями за счет снижения параметра порогового поля в центре и на поверхности нематического слоя. Заключение сделано вследствие отсутствия угловой зависимости пороговых характеристик во всем температурном интервале существования нематической фазы.
5. Реализован метод экспериментального определения углов ориентации нематического директора и энергии сцепления в ячейках с двумя плоскими поверхностями, обладающими двулучепреломлением. Метод основан на изменении дихроизма изолированной полосы примесного электропоглощения молекул красителя при структурных превращениях нематика в магнитном поле. Метод позволил определить параметры анизотропии взаимодействия молекул нематика МБА с поверхностью сегнетоэлектрического кристалла ТГС.
6. Определены пороговые поля перехода Фредерикса для планарного слоя нематика МБА, заключенного между двумя соосно ориентированными пластинами сегнетоэлектрика ТГС, содержащими «-» домены. Реализовано экспериментальное разрешение пороговых полей в ячейках со сцеплением нематика с поверхностью. Определена энергия сцепления нематика МБА с поверхностью скола ТГС.

Исследовано изменение углов ориентации директора в окрестности порогового поля перехода Фредерикса для МББА на «-» доменных поверхностях ТГС. Обнаружено, что концепции «электрических» коррекций потенциала РП не описывает анизотропное взаимодействие нематика с сегнетоэлектрической поверхностью. Зависимость углов ориентации в центре и на поверхности нематического слоя лучше описывается моделью Парсонса, учитывающей конкурирующее влияние полярных и неполярных сил на поверхности. Показано отсутствие флексоэлектрического эффекта при взаимодействии МББА со сколами ТГС.

Впервые достигнуто магнитное поле насыщения нематика в ЖК ячейке. Обнаружено влияние поверхностной поляризации на анизотропное взаимодействие нематиков с ограничивающими поверхностями. Для планарного молекулярного слоя МББА, ориентированного «-» доменами ТГС, пороговое поле перехода Фредерикса и поле насыщения получены в одном эксперименте. Впервые рассчитана энергия сцепления из данных критических полей. Получено существенное (на два порядка) различие этих значений. Различие не удастся объяснить в рамках концепции «электрических» коррекций потенциала РП и требует использования потенциала, учитывающего эффекты поверхностной поляризации при взаимодействии нематиков с ограничивающими поверхностями.

Основные результаты работы опубликованы в следующих статьях:

Gunyakov V. A., Podoprigora., Parshin A. M., Khrustalev B. P., Shabanov V. F. The «liquid crystal – substrate» anchoring energy measurements under strong magnetic field // Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1991, V.209.- P. 117 – 121.

Гуныков В. А., Подопригора В. Г., Паршин А. М., Хрусталеv Б. П., Шабанов В. Ф. Измерение энергии сцепления жидкого кристалла с поверхностью подложки в сильном магнитном поле // Поверхность, 1992, №2.- С. 69 – 72.

Gunyakov V. A., Parshin A. M., Khrustalev B. P., Shabanov V. F. Determination of anchoring energy for nematic onto ferroelectric substrate // Solid State Commun., 1993, V.87, No.9.- P. 751-753.

4. Гуняков В. А., Паршин А. М., Хрусталеv Б. П., Шабанов В. Ф. Определен ориентации директора нематика на поверхности сегнетоэлектрического кристалла // Оптический журнал, 1997, Т.64, № 5.- С. 96-98.
5. Guniakov V.A., Parshin A.M. and Shabanov V.F. Investigation of the nematic ferroelectric interface under a strong magnetic field// Sol. St. Commun., 1998, V.10 No.12.- P. 761-765.
6. Гуняков В. А., Паршин А. М., Шабанов В. Ф. Особенности анизотропного взаимодействия нематического жидкого кристалла с полярной поверхностью скола сегнетоэлектрического кристалла // Оптический журнал, 1997, Т.65, № 7 С.

Препринтах:

7. Гуняков В. А., Паршин А. М., Подопрigора В. Г., Хрусталеv Б.П., Шабанов В. Ф. Определение энергии сцепления из S - эффекта на тонких нематических пленках в сильном магнитном поле.- Красноярск: ИФ. 1990.- 24с. (Препринт 629Ф АН СССР. Сиб. отд.-ние, Ин-т физики им. Л. В. Киренского).
8. Гуняков В. А., Паршин А. М., Хрусталеv Б. П., Шабанов В. Ф. Исследование анизотропного взаимодействия нематиков с граничащими поверхностями сильных магнитных полей.-Красноярск: ИФ. 1996.- 30с. (Препринт № 770 РАН. Сиб. отд.-ние, Ин-т физики им. Л. В. Киренского).
9. Гуняков В. А., Паршин А. М., Шабанов В. Ф. Влияние поверхности поляризации на энергию сцепления МББА со сколами ТГС.- Красноярск: ИФ. 1997.- 20с. (Препринт № 775 Ф РАН. Сиб. отд.-ние, Ин-т физики им. Л. В. Киренского).
10. Паршин А. М. Анизотропное взаимодействие нематика с обработанными стеклянными поверхностями.- Красноярск: ИФ. 1998.- 22с. (Препринт № 785 РАН. Сиб. отд.-ние, Ин-т физики им. Л. В. Киренского). (Препринт № 775 РАН. Сиб. отд.-ние, Ин-т физики им. Л. В. Киренского).

Тезисах докладов конференций:

- Гуляков В. А., Паршин А. М., Подопригра В. Г., Хрусталеv Б. П., Шабанов В. Ф. S - эффект на тонких нематических пленках в сильном магнитном поле // Оптика жидких кристаллов: тез. докл. Всесоюз. семинара.- Красноярск, 1990.- С. 126.
- Gunyakov V. A., Podoprigora., Parshin A. M., Khrustalev B. P., Shabanov V. F. The liquid crystal on the solid state surface: Int. Liq. Cryst. Conf.- Vancouver, Canada, 1990.- Abstr., V.2, P. 195.
- Podoprigora., Gunyakov V. A., Parshin A. M., Remisov I. A. The effect of the solid state surface on liquid crystal properties: Sum. Europ. Liq. Cryst. Conf.- Vilnius, Lithuania, 1991.- Abstr. 1., V.88, P. 222.
- Gunyakov V. A., Parshin A. M., Presnyakov V. V., Shabanov V. F. S-deformation of a nematic – ferroelectric cell under strong magnetic field affected by anchoring conditions // Optics of liquid crystals: Int. top. Meeting.- Heppenheim, Germany, 1997.- Abstr., P. 128.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Блинов Л. М., Кабаенков А. Ю., Температурная зависимость и "размерный эффект" для энергии сцепления планарно ориентированного нематика на твердой подложке // ЖЭТФ, 1987, Т.93, №5.- С. 1757-1764.
- Yokoyama H., van Sprang H. A. A novel method for determining the anchoring energy function at a nematic liquid crystal-wall interface from director distortions at high fields // J. Appl. Phys., 1985, V.57, No.10.- P. 4520-4526.
- Марусий Т. Я., Резников Ю. А., Решетняк В. Ю., Хижняк А. И. Рассеяние света нематическими жидкими кристаллами в кюветах с конечной энергией сцепления директора со стенками // ЖЭТФ., 1986, т.91.- С. 861.
- Ryshenkov G., Kleman M. Surface defects and structural transition in very low anchoring energy nematic thin films // J. Chem. Phys., 1976, V.64, No.1.- P. 404-412.
- Yang K. H., Rosenblatt C. Determination of the anisotropic potential at the nematic liquid crystal-towall interface // 1983, V.43, No.1.- P. 62-64.

6. Naemura S. Measurement of anisotropic interfacial interactions between a nematic liquid crystal and various substrates // Appl. Phys. Lett., 1978, V.33, No.1.- P. 1-3.
7. Glogarova M., Durand G. Anchoring strength of nematic liquid crystal on ferroelectric crystal interface // J. Phys., 1988, V.49, No.9.- P. 1575-1581.
8. Хрусталеv Б. П. Техника и технология сильных стационарных магнитных полей. Магнитные свойства кристаллических и аморфных сред / Под ред. В. Игнатченко.-Новосибирск: Наука, 1989.- С. 256.
9. Yokoyama H., Kobayashi S., Kamei H. Temperature dependence of the anchoring strength at a nematic liquid crystal-evaporated SiO<sub>2</sub> interface // J. Appl. Phys., 1991, V.61.-P. 4501-4518.
10. Barbero G., Durand G. Surface anchoring of nematic liquid crystals // Liquid Crystals in Complex Geometries / Edited by Crawford G. Ph. and Zumer S. Taylor and Francis, 1996. 500 p.

---

ПЛД № 48-39 от 25.03.96 Сдано в набор 12.05.98.  
Подписано в печать 06.05.98. Гарнитура "Times New Roman".  
Уч. изд. л. 1.3. Заказ № 27 Тираж 100 экз.

---

Отпечатано в типографии Института физики СО РАН.  
660036, Красноярск, Академгородок.