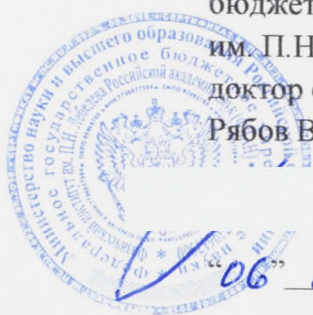


“УТВЕРЖДАЮ”

Заместитель директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Физического института
им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,
доктор физико-математических наук, профессор
Рябов Владимир Алексеевич



06 июля 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Симдянкина Ивана Владимировича “Переключение жидких кристаллов в пространственно-периодическом электрическом поле”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Жидкие кристаллы (ЖК), являющиеся разновидностью мягкой материи, сочетают, с одной стороны, высокую восприимчивость надмолекулярной структуры к внешним электромагнитным полям и, с другой стороны, большую (0.1–0.5) оптическую анизотропию. Сочетание этих факторов обуславливает применения жидких кристаллов для модуляции световых потоков и создания дисплеев. При этом чрезвычайно важным вопросом для жидкокристаллических устройств является повышение быстроты отклика ЖК (переориентации директора ЖК, то есть единичного вектора, характеризующего направление преимущественного молекулярного упорядочения) на воздействие низкочастотного электрического поля. Это необходимо, в частности, для разработки дисплеев с последовательным отображением цветов. Поэтому тема диссертации И.В. Симдянкина, посвященной, в основном, исследованию различных схем модуляции светового потока при воздействии на нематические и хиральные нематические жидкие кристаллы (НЖК и ХНЖК) пространственно периодических полей, безусловно является **актуальной**.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения.

Во **Введении** приведены цели исследования, защищаемые положения, указана новизна полученных результатов и сформулирован личный вклад автора в проведенные исследования.

В **первой главе** изложены основные свойства жидких кристаллов, рассмотрены механизм и характеристики поворота директора ЖК во внешних полях. Описаны типы современных дисплеев и подходы к увеличению их быстродействия.

Во **второй главе** описаны использованные в исследованиях нематические и смектические матрицы, а также хиральные добавки. Представлены методики измерения

материальных параметров жидкокристаллических систем. Описаны конструкции ячеек и схемы экспериментальных установок для измерения фазовой задержки между необыкновенной и обыкновенной волнами и спектров пропускания ЖК. Изложена схема моделирования взаимодействия ЖК с внешним электрическим полем и пропускания ЖК слоев для заданной поляризации света, реализованная в программе LCD TDK, разработанной в лаборатории жидких кристаллов Института кристаллографии РАН.

Третья глава посвящена изложению результатов исследований электрооптического отклика нематических ЖК (НЖК) в электрическом поле, создаваемом системой встречно-штыревых электродов (ВШЭ).

В первом разделе этой главы исследована переориентация директора НЖК в гомеотропной ячейке (диэлектрическая анизотропия положительна) с системой ВШЭ на одной подложке в случае, когда пространственный период электродов меньше толщины ячейки. В электрооптическом отклике экспериментально показано присутствие двух мод с различными характерными временами переориентации директора (~ 0.5 и 10 мс для НЖК E7). Наличие первой быстрой моды связано с периодической деформацией поля директора, содержащей доменные стенки, расстояние между которыми равно половине межэлектродного расстояния. Вторая медленная мода связана с разрушением доменных стенок (нарушением симметрии поля директора) и достаточно медленным проникновением его деформации в объем образца.

Во втором разделе исследована переориентация директора НЖК в гомеотропной ячейке с системами ВШЭ на обеих подложках жидкокристаллической ячейки. При этом отдельно изучены случаи параллельной и перпендикулярной ориентации микроэлектродных полос на подложках.

Для системы с параллельной ориентацией электродов в зависимости от полярности прикладываемого напряжения возникает "планарное" поле, ориентированное в значительной степени параллельно подложкам, или "нормальное поле", перпендикулярное подложкам. Экспериментально показано, что воздействие планарного поля сильно нарушает первоначальную гомеотропную ориентацию директора НЖК и приводит к образованию структуры с "гомеотропной" и "горизонтальной" стенками, соответственно перпендикулярными и параллельными плоскости ЖК слоя. Нормальное поле стремится восстановить первоначальную гомеотропную ориентацию. Чередование воздействия планарного и нормального полей позволило осуществить двунаправленное переключение поля директора и, тем самым, оптического пропускания в скрещенных поляризаторах. При этом время переключения (сумма времен включения и выключения переориентации директора) в несколько раз меньше, чем в отсутствие нормального поля. Автором показана возможность увеличения контраста при уменьшении длительности нормального поля – при этом

неоднородное поле вблизи краев электродов исчезает и директор НЖК в этой области под действием упругих сил возвращается к гомеотропной ориентации. В работе изучено двунаправленное переключение для различных геометрических параметров ячейки (ее толщины, толщины электродов и межэлектродного расстояния). Для ЖК слоя толщиной 3.1 мкм и периода электродов 6 мкм достигнуто время переключения равное 0.5 мс, что существенно меньше, чем соответствующее время 6 мс для наиболее распространенной в настоящее время FFS (fringe field switching) моды (ВШЭ и сплошной электрод на разных подложках).

Аналогичные результаты – сокращение времени переключения благодаря двунаправленности воздействия поля и уменьшение утечки света при сокращении импульса нормального поля – получены и для перпендикулярной ориентации микроэлектродных полос на подложках.

Для этой же геометрии в случае когда период электродов меньше, чем толщина ЖК слоя, автором экспериментально наблюдалось разделение электрооптического отклика на быструю и медленную моды при двунаправленном переключении. Для быстрой моды времена перехода в светлое и темное состояние составили 200 и 100 мкс, что на порядки быстрее, чем времена для обычной твист-ячейки. Существование двух мод было также показано с помощью численного моделирования для параллельной ориентации микроэлектродов на подложках.

На основе анализа экспериментальных данных автором сделан вывод о том, что быстродействие ячейки с параллельными микроэлектродами выше, чем у ячейки с перпендикулярными электродами. Однако ее технологическая реализация требует точного совмещения электродов на подложках.

В третьем разделе изложены результаты исследования электрооптического отклика ячейки с системой ВШЭ на одной подложке при отрицательной диэлектрической анизотропии. Экспериментально установлено, что времена переключения при наблюдении ячейки с поляризатором с направлением пропускания параллельно электродам в несколько раз меньше, чем для системы с направлением поляризатора под углом 45° к электродам. При этом изменение пропускания под действием электрического поля во втором случае существенно больше. Численно рассчитана деформация поля директора для рассматриваемой геометрии, результаты расчета согласуются с микроскопическими наблюдениями.

В **четвертой** главе рассмотрены оптические и электрооптические свойства хиральных жидких кристаллов.

В первом разделе этой главы экспериментально изучена трансформация спектров брэгговского отражения для ХНЖК. По мере увеличения угла между волновым вектором света и оптической осью геликоида наблюдалось образование провала в основной полосе отражения

и возникновение полосы второго порядка со сложной структурой, состоящей из трех отдельных пиков. Результаты проведенного численного моделирования хорошо описывают эксперимент. Кроме этого, в этом разделе приведены экспериментальные результаты для трансформации спектров отражения при изменении угла между волновым вектором света и оптической осью для хиральных смектических жидких кристаллов.

Во втором разделе изучена трансформация спектра отражения ХНЖК при кратковременном (несколько миллисекунд) приложении достаточно сильного (до 10 В/мкм) электрического поля, созданного системами ВШЭ на одной или обеих подложках планарного образца. При таких экспериментальных условиях эффект раскрутки спирали не проявлялся. Экспериментально показано, что электрическое поле индуцирует полосы отражения второго и высших порядков. Для индуцированной полосы второго порядка наблюдалась структура из трех пиков. Результаты проведенного численного моделирования соответствуют экспериментальным закономерностям.

В третьем разделе исследован ранее обнаруженный электрооптический эффект, проявляющийся в планарном ХНЖК вдали от полосы брэгговского отражения при приложении электрического поля параллельно жидкокристаллическому слою. Были проведены эксперименты с тремя образцами с существенно разными значениями анизотропии диэлектрической проницаемости. Установлено, что электрооптический отклик тем больше, чем больше модуль диэлектрической анизотропии. Он практически отсутствует для образца с диэлектрической анизотропией близкой к нулю ($\Delta\epsilon = 0.01$). На основании полученных результатов автор делает вывод о том, что механизм изучаемого явления связан с действующим на директор ХНЖК вращающим моментом, обусловленным диэлектрической анизотропией, а не с флексоэлектрическим взаимодействием.

В **Заключении** сформулированы основные результаты работы.

Новизна работы заключается в установлении закономерностей трансформации поля директора при расположении систем ВШЭ на обеих подложках, экспериментальном наблюдении медленной и быстрой моды деформации поля директора (в ячейке с ВШЭ на одной подложке и в ячейке со скрещенными ВШЭ на обеих подложках), экспериментальном наблюдении полос, соответствующих высшим порядкам отражения, в хиральных НЖК под действием электрического поля. **Достоверность** полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждается применением адекватных поставленным задачам экспериментальных методик, проведением экспериментов на различных образцах и согласием результатов эксперимента и численного моделирования.

Полученные в диссертации результаты важны для развития электрооптики жидких кристаллов. **Практическая значимость** результатов обусловлена возможностью их применения в быстродействующих фазовых модуляторах, дисплеях и для создания управляемых узкополосных фильтров в различных спектральных диапазонах.

Основные результаты диссертации Симдянкина И.В. опубликованы в шести статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации И.В. Симдянкина могут быть использованы в фундаментальных и прикладных исследованиях в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Московском государственном областном университете, Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Достоинствами диссертации является актуальность темы, высокая практическая значимость, высокий уровень эксперимента, большой объем полученных экспериментальных данных и наличие численных расчетов, выявляющих и иллюстрирующих трансформации надмолекулярной структуры жидких кристаллов и светового поля.

Диссертация Симдянкина И.В. не свободна от недостатков:

1. При описании схемы компьютерного моделирования не указано, учитывался ли эффект обратного потока. Не указана область применимости приближения одномерно-неоднородной среды.
2. Не указана точность определения упругих постоянных по кривым фазовой задержки (рис. 2.2, стр. 38)
3. Приведенное на стр. 94 неравенство $n_{\parallel}P \leq \lambda \leq n_{\perp}P$ неверно, так как для исследованных в диссертации каламитиков $n_{\parallel} > n_{\perp}$.
4. В разделе 3 четвертой главы не обсуждаются возможные значения флексоэлектрических коэффициентов для сравниваемых образцов.
5. Имеются технические погрешности, например:
 - для констант упругости Франка используются разные обозначения на стр. 11 и 37.
 - в тексте на стр. 12 указано, что на рис. 1.2 представлена планарная ячейка, хотя на этом рисунке изображена ячейка с гомеотропной ориентацией.
 - для одной и той же работы в диссертации используются две ссылки ([15] и [75]).

Отмеченные недостатки, однако, не влияют на общую высокую положительную оценку работы.

Диссертация Симдянкина И.В. “Переключение жидких кристаллов в пространственно-периодическом электрическом поле” является законченным научным исследованием и

полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г, а ее автор, Симдянкин Иван Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Доклад Симдянкина И.В. по материалам диссертации был заслушан на семинаре Отдела оптики низкотемпературной плазмы (ОНТП) ФИАН 25 июня 2020 г. Отзыв на диссертацию подготовлен ведущим научным сотрудником Отдела ОНТП, доктором физико-математических наук Золотько Александром Степановичем и единогласно одобрен на заседании Ученого совета Отдела ОНТП ФИАН (протокол № 3 от 25 июня 2020 г).

Ведущий научный сотрудник Отдела ОНТП ФИАН,
доктор физико-математических наук



Золотько Александр Степанович

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53;
тел. (499) 132-68-44;
e-mail: zolotkoas@lebedev.ru

И.о. заведующего Отделом ОНТП ФИАН,
доктор физико-математических наук

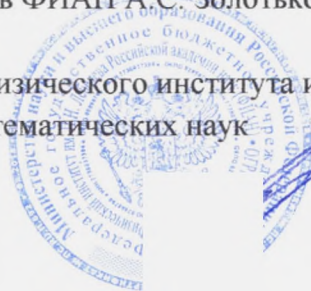


Савинов Сергей Юрьевич

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53
тел. (499) 132-67-22;
e-mail: savinov@lebedev.ru

Подписи сотрудников ФИАН А.С. Золотько и С.Ю. Савинова удостоверяю.

Ученый секретарь Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,
кандидат физико-математических наук



Колобов Андрей Владимирович