

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова



А.А. Федянин

«03» июля 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
ЗОЛОТЬКО Александра Степановича
«ОПТИЧЕСКАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 01.04.05 – Оптика.

Ориентация единичного вектора (директора), характеризующего направление преимущественного выстраивания молекул в жидких кристаллах может меняться под действием электрических и магнитных полей. В сочетании с большой анизотропией жидкокристаллических сред это лежит в основе уникальности и разнообразия свойств жидких кристаллов и открывает широкие возможности их практических применений. В частности, жидкие кристаллы являются перспективным материалом для лазеров с распределенной обратной связью, терагерцовой техники, а также для решения задач управления световыми пучками и импульсами. С практической точки зрения исследование оптической ориентации жидких кристаллов представляется важным для выявления возможностей создания широкого класса устройств для управления световыми пучками и импульсами. Важность исследований подчеркивается высокой эффективностью взаимодействия жидких кристаллов с лазерным излучением, проявляющейся в больших значениях компонент тензоров оптических восприимчивостей. Понимание эффектов взаимодействия света с простейшими жидкокристаллическими фазами является необходимым этапом в систематическом исследовании воздействия света на биологические жидкокристаллические структуры.

К моменту начала исследований диссертанта были опубликованы лишь единичные работы, затрагивающие вопросы ориентационного взаимодействия света с жидкими кристаллами. Целью диссертационной работы явилось выяснение специфических свойств оптической ориентации жидких кристаллов и связанных с ней изменений параметров световых пучков. Таким образом, тема диссертации Золотько А.С. является актуальной как с фундаментальной, так и с практической точек зрения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Объем работы составляет 218 страниц, включая 94 рисунка, одну таблицу и список литературы из 317 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и конкретные задачи исследования, указаны новизна, а также научная и практическая значимость работы. Приведены положения, выносимые на защиту. Кроме этого, введение содержит обзор работ по переориентации директора нематических жидких кристаллов (НЖК) в низкочастотных электрических и магнитных полях, а также предшествующих работ по взаимодействию света с жидкими кристаллами.

В **первой главе** диссертации изложены результаты исследования оптического воздействия на непоглощающие НЖК. Экспериментально показано, что характер воздействия света на директор гомеотропно ориентированного НЖК (первоначально директор перпендикулярен плоскости жидкокристаллического слоя) зависит от направления распространения световой волны и ее поляризации. При наклонном падении на НЖК необыкновенной световой волны происходит беспороговый светоиндуцированный поворот директора НЖК к новому стационарному состоянию. При нормальном падении линейно поляризованного света наблюдается пороговая переориентация директора НЖК (ориентационный фазовый переход), аналогичная переходу Фредерикса в низкочастотных полях. Угол поворота директора достигал 90° . Для циркулярно поляризованного света пороговая интенсивность света оказывается в два раза выше. При наклонном падении на НЖК необыкновенной световой волны возбуждались незатухающие колебания поля директора.

Полученные экспериментальные результаты устанавливают как общие черты переориентации директора НЖК в низкочастотных и световом полях (порог при взаимно перпендикулярной ориентации поля и директора), так и принципиально различные (колебания директора в обыкновенной световой волне). А.С. Золотко установлено, что светоиндуцированная переориентация директора НЖК сопровождается ярко выраженной абберационной самофокусировкой (вызванной изменением показателя преломления при повороте директора). При этом регистрация числа абберационных колец позволяет вычислить угол поворота директора.

Автором изучены особенности оптической ориентации НЖК, связанные с поперечной пространственной ограниченностью светового пучка. Экспериментально и теоретически показано, что ограниченность светового пучка приводит к повышению порога переориентации, по сравнению со случаем плоской волны, а также к нелинейной зависимости скорости переориентации директора от мощности светового пучка. Анализ

динамики поведения директора НЖК в световом пучке позволяет определить вязкость НЖК. Развита простые модели колебаний компонент векторного поля директора НЖК в обыкновенной световой волне, учитывающие энергообмен между необыкновенной и обыкновенной волнами. Теоретически описана бистабильность поля директора НЖК в циркулярно поляризованной световой волне.

Вторая глава в основном посвящена абберационной самофокусировки светового пучка в НЖК. Экспериментально и теоретически изучен достигающий 90° эффект поворота плоскости поляризации, обусловленный влиянием неоднородности поля директора на энергообмен между необыкновенной и обыкновенной волнами. Продемонстрировано хорошее согласие результатов расчета и эксперимента. Экспериментально исследована форма абберационной картины. Показано, что ее вытянутость вызвана различием упругих констант Франка. Описаны и интерпретированы свойства абберационной картины в отраженном световом пучке.

Автор экспериментально исследовал самовоздействие светового пучка в НЖК, к которому было приложено постоянное электрическое поле. Обнаружено, что абберационная картина в этом случае существенно сложнее системы абберационных колец. На основе анализа свойств абберационной картины автор установил, что самовоздействие светового пучка вызвано эффектом фоторефрактивного типа – свет снимает экранировку поверхностными зарядами внешнего постоянного поля, что и приводит к повороту директора. Фоторефрактивный эффект, связанный со снятием экранировки внешнего поля, наблюдался в различных образцах НЖК. При этом константа нелинейности для фоторефрактивного эффекта в ряде случаев на два порядка превышала аналогичную константу для ориентационных эффектов в отсутствие постоянного поля. Численно и аналитически рассчитаны каустики абберационной картины. Полученные результаты важны для описания физики фоторефрактивного эффекта в жидких кристаллах.

В третьей главе представлены результаты исследования взаимодействия света с холестерическими жидкими кристаллами (ХЖК) и с жидкими кристаллами, имеющими температуру, близкую к температуре фазового перехода «смектик–нематик» и «нематик–изотропная фаза». Обнаружена оптическая генерация метастабильных двумерных периодических структур поля директора, возникновение которых обусловлено изменением шага холестерической спирали при фотоконформационных переходах молекул ХЖК. Такие структуры фактически представляют собой фазовые решетки, особенности дифракции света на которых изучены автором. В диссертации также показано, что воздействие светового пучка на смектическую фазу жидкого кристалла,

температура которой близка к температуре фазового перехода «смектик–нематик», приводит к изменению температуры и, как следствие, к переходу в нематическую фазу.

В четвертой главе изложены результаты исследований оптической ориентации поглощающих НЖК. Установлено, что в НЖК с примесью азобензольных соединений возникает дополнительная обратная связь между поворотом директора НЖК и ориентационным действием оптического поля. Благодаря ей автором впервые экспериментально реализован чисто оптический ориентационный переход первого рода между стационарными состояниями поля директора, характеризующийся широкой областью гистерезиса. Воздействие дополнительного низкочастотного поля, а также изменение поляризации света, могут изменить характер перехода (с первого на второй). Построена модель, описывающая основные закономерности этих ориентационных переходов.

Приведены результаты сравнительного исследования оптической ориентации НЖК с примесью высокомолекулярных соединений (гребнеобразного полимера и дендримера), содержащих азобензольные фрагменты, и НЖК с примесью низкомолекулярных красителей, аналогичных по строению этим фрагментам. Установлено, что вращающее действие оптического поля в НЖК с примесью высокомолекулярных соединений существенно превышает аналогичную величину в НЖК с примесью низкомолекулярных красителей. Полученный результат указывает возможные способы увеличения ориентационной оптической нелинейности жидкокристаллических соединений.

Автором предложен механизм оптической ориентации поглощающих НЖК, основанный на несимметричности потенциала межмолекулярного взаимодействия. Экспериментально и теоретически исследованы происходящие в НЖК ориентационные переходы, имеющие место при изменениях мощности светового пучка и низкочастотного электрического поля. Возникновение этих переходов связано с поперечной неоднородностью поля директора, вызванной пространственной ограниченностью светового пучка. Также экспериментально исследован эффект оптической ориентации молекул в гомеотропно ориентированных жидких кристаллах, обусловленный светоиндуцированным изменением ориентирующих свойств поверхностей.

К наиболее важным научным результатам, имеющим все признаки научной новизны, можно отнести:

- выяснение характера переориентации директора НЖК в зависимости от поляризации и направления распространения световой волны
- установление особенностей самовоздействия световых пучков в неоднородных анизотропных средах

- обнаружение увеличения оптического вращающего момента в НЖК при переходе от низкомолекулярных к высокомолекулярным поглощающим добавкам
- реализация и исследование ориентационного перехода первого рода под действием линейно поляризованного света.

Достоверность основных научных результатов диссертационной работы подтверждается обоснованностью выбора использованных аналитических и численных методов анализа ориентационного воздействия светового поля на жидкие кристаллы, тщательностью анализа полученных экспериментальных и теоретических результатов, а также совпадением полученных автором аналитических и экспериментальных результатов.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в отечественных и международных реферируемых научных журналах, неоднократно обсуждались на многих международных научных конференциях и семинарах, получили признание ведущих специалистов. Диссертация А.С. Золотко представляет собой законченное научное исследование, в котором решена актуальная задача детального экспериментального и теоретического описания воздействия электрического поля световой волны на ориентацию молекул жидких кристаллов, **имеющая большую научную и практическую значимость.**

Наиболее весомые результаты работы А.С. Золотко в основном опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для изложения материалов докторских диссертаций. Всего по теме диссертации опубликовано 48 журнальных статей в журналах, индексируемых системами SCOPUS и Web of Science. За небольшим исключением диссертация написана хорошим языком и хорошо оформлена.

Использование результатов диссертации Золотко А.С. может быть рекомендовано во всех научных организациях и фирмах, исследующих и использующих жидкие кристаллы, в том числе в ВНИИОФИ, ГОИ им. С.И.Вавилова, ИОФ РАН, ИК РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, СПбГУ, ИФ СО РАН, ИвГУ и других организациях.

Недостатки работы:

1. Некоторые защищаемые положения и выводы диссертации содержат достаточно общие формулировки, которые из-за отсутствия указаний всех ограничений, сделанных в работе, захватывают те области значений параметров, которые автором не исследовались. В качестве примера можно привести шестое защищаемое положение. Однако в сочетании с изложенным в главах материалом они адекватно отражают достижения диссертанта.

2. Некоторые иллюстрации диссертации судя по всему отсканированы с не очень хороших ксерокопий статей автора и затем вставлены в текст. В результате ряд фотографий имеет очень низкий контраст, что не лучшим образом сказывается на их восприятии.

Подчеркнем, что отмеченные недостатки принципиально не влияют на общую положительную оценку проделанной автором большой работы. Автореферат полностью отвечает содержанию диссертации, которая соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям. Ее автор Александр Степанович Золотько несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Доклад А.С. Золотько по диссертации «Оптическая ориентация жидких кристаллов» заслушан на совместном заседании кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Ученого Совета Международного лазерного центра МГУ имени М.В. Ломоносова (МЛЦ МГУ) 29 мая 2015 года. Текст отзыва был обсужден и принят единогласно.

Зав. кафедрой общей физики и волновых
процессов физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
Директор Международного лазерного центра
МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук,
профессор



Макаров Владимир Анатольевич

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы,
д. 1, стр. 2, физический факультет МГУ,
кафедра общей физики и волновых процессов,
рабочий тел. + 7 (495)939-12-25,
e-mail: vamakarov@phys.msu.ru

Список публикаций

сотрудников кафедры общей физики и волновых процессов МГУ имени М.В. Ломоносова и Международного лазерного центра МГУ имени М.В. Ломоносова (<http://www.ilc.msu.ru>) по тематике диссертации Золотько Александра Степановича “Оптическая ориентация жидких кристаллов”, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

1. Chirkin A.S., “Diffraction of light beams at parametric interaction in nonlinear photonic crystals”, *J. Russ. Laser Res.*, 2014, V. 35, No. 5, P. 462–469.
2. Gryaznov G.A., Makarov V.A., Perezhogin I.A., Potravkin N.N., “Modelling of nonlinear optical activity in propagation of ultrashort elliptically polarized laser pulses”, *Phys. Rev. E*, 2014, Vol. 89, No. 1, P. 013306(11).
3. Potravkin N.N., Cherepetskaya E.B., Perezhogin I.A., Makarov V.A., “Ultrashort elliptically polarized laser pulse interaction with helical photonic metamaterial”, *Opt. Mater. Express*, 2014, Vol. 4, No. 10, P. 2090–2101.
4. Чекалин С.В., Кандидов В.П., “От самофокусировки световых пучков – к филаментации лазерных импульсов”, *Успехи физических наук*, 2013, Т. 183, № 2, С. 133-152.
5. Makarov V.A., Petnikova V.M., Potravkin N.N., Shuvalov V.V., “Particular periodic solutions to a nonintegrable system of Schrödinger nonlinear equations and their eigenvalues”, *Physics of Wave Phenomena*, 2013, Vol. 21, No. 4, P. 264–269.
6. Makarov V.A., Petnikova V.M., Potravkin N.N., Shuvalov V.V., “Chirped elliptically polarized waves in an isotropic gyrotropic nonlinear medium: approximate solution to the propagation problem”, *Laser Phys. Lett.*, 2013, Vol. 10, No. 7, P. 075404.
7. Potravkin N.N., Perezhogin I.A., Makarov V.A., “Numerical solution of Maxwell equations by a finite-difference time-domain method in a medium with frequency and spatial dispersion”, *Phys. Rev. E.*, 2012, Vol. 86, No. 5, P. 056706(6).
8. Макаров В.А., Пережогин Н.А., Петникова В.М., Потравкин Н.Н., Шувалов В.В. “Эллиптически поляризованные кноидальные волны в среде с пространственной дисперсией кубической нелинейности”, *Квант. электрон.*, 2012, Т. 42, № 2, С. 117–119.
9. Макаров В.А., “Нелинейная оптика: история, настоящее и будущее”, *Вестник РАН*, 2011, №6, С. 528-536.
10. Ежов А.А., Козенков В.М., Магницкий С.А., Нагорский Н.М., Панов В.И., “Фотоиндуцированная трансляционная подвижность молекул в твердых наноструктурированных пленках из азокрасителя”, *Квант. электрон.*, 2011, Т. 41, № 11, С. 1003–1009.