

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук,  
Ульянова Сергея Владимировича

о диссертационной работе Кесаева Владимира Валерьевича «Фазовая модуляция частично поляризованного света в средах с индуцируемым двулучепреломлением», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 — Оптика

В основу диссертационной работы В.В. Кесаева положено систематическое исследование, относящееся к пограничной области оптики и кристаллооптики. В работе изучаются закономерности распространения света в кристаллах, в частности исследуется возникающая геометрическая фаза частично поляризованной световой волны, обусловленная изменением состояния поляризации. Если явление двойного лучепреломления известно с 1669 г., то геометрическая фаза была открыта в середине 1980-х годов и остается еще молодой, активно исследуемой областью физики и, в частности, оптики. В отличие от традиционных способов получения геометрической фазы, в которых полностью поляризованная световая волна последовательно проходит волновые пластинки, преобразующие состояние поляризации исключительно циклическим образом, В.В. Кесаев рассматривает случай нециклической эволюции, когда входное и выходное состояния поляризации различаются. Требование цикличности вытекает из условия сохранения исходной поляризации световой волны для фазовой модуляции света. Для того чтобы снять указанное ограничение, автор предлагает и исследует случай распространения неполяризованного света через анизотропную среду. Кроме того, автором исследуется общий случай частично поляризованного света, где устанавливается влияние степени поляризации на геометрическую фазовую задержку.

В качестве модельной среды в диссертационной работе используются планарно-ориентированные сегнетоэлектрические жидкие кристаллы с эффектом деформированной спирали, у которых период спиральной структуры в несколько раз меньше модулируемой световой длины волны. Такие кристаллы могут изменять свои главные показатели преломления под воздействием внешнего электрического поля. Эти изменения не изотропны, т.е. не сводятся к умножению тензора диэлектрической проницаемости на скалярный множитель. Напротив, изменения в электрическом поле приводят к пространственной переориентации главных осей тензора, следствием чего является модуляция состояния поляризации проходящей через кристалл волны. Последнее обстоятельство препятствует использованию сегнетоэлектрических жидких кристаллов для целей фазовой модуляции света.

Диссертационная работа В.В. Кесаева посвящена вопросам возникновения динамической и геометрической фазы при прохождении частично поляризованного света через анизотропную среду. Приведенный анализ указывает на наличие общих закономерностей возникновения фазы в средах с индуцированным двойным лучепреломлением, отнесенным к одной точечной группе. На основе этих закономерностей автор разрабатывает методы и подходы к фазовой модуляции света и указывает на границы применимости разработанных подходов. Предлагается оригинальное решение проблемы искажения исходного состояния поляризации света при распространении через планарно ориентированные сегнетоэлектрические жидкие кристаллы, и как результат в них демонстрируется чисто фазовая модуляция света. Цели, задачи и проблематика исследования определены весьма точно и конкретно на основе современного состояния кристаллооптики и грамотного анализа литературных данных.

Таким образом, **актуальность** диссертационной работы Кесаева Владимира Валерьевича «Фазовая модуляция частично поляризованного света в средах с индуцируемым двулучепреломлением» не вызывает сомнений. Работа представляет собой экспериментальное исследование фазы, возникающей при распространении световой волны в планарно ориентированных сегнетоэлектрических жидких кристаллах с эффектом деформированной спирали. Исследования выполнены в рамках хорошо разработанных интерферометрических методов, а полученные результаты интерпретированы в терминах геометрической фазы Панчаратнама. Соответствие диссертационной работы специальности 1.3.6 — «Оптика» также не вызывает никакого сомнения.

Диссертационная работа Кесаева В. В. состоит из введения, четырех глав, одного приложения, основных результатов и выводов, а также списка литературы.

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы диссертационной работы, указывается цель и формулируются задачи, приводится общий план работы и принятая методология.

**В первой главе** представлен литературный обзор по теме диссертации, приводится сравнительный анализ физических механизмов, используемых для фазовой модуляции света. Формируются основные требования к фазовым модуляторам света в составе пространственно-временных модуляторов света. Описывается электрооптика планарно ориентированных сегнетоэлектрических жидких кристаллов с эффектом деформированной спирали. Формулируется проблема изменения состояния поляризации света, распространяющегося в сегнетоэлектрических жидких кристаллах. Приводятся краткие сведения о поляризации света, о геометрической фазе и связанных понятиях, используемых в дальнейшем изложении.

**Во второй главе** описано распространение неполяризованного и частично поляризованного света через электрооптические ячейки с планарно-ориентированными

сегнетоэлектрическими жидкими кристаллами при наличии деформированной спирали. Исследование проводилось на установке типа интерферометра Маха-Цендера, при этом на вход интерферометра подавался неполяризованный или частично поляризованный свет, а в одно из плеч помещалась электрооптическая ячейка. Интерферометр настраивался в полосах конечной толщины, которые проецировались на экран с точечной диафрагмой. Регистрировалась интенсивность света, прошедшего через точечную диафрагму в зависимости от величины управляющего напряжения, подаваемого на ячейку. При модуляции неполяризованного света наблюдается сложная картина полос, состоящая из двух систем: первая из них — это полосы конечной толщины, сдвиг которых свидетельствует о фазовом набеге, а вторая — это полосы нулевого контраста, за возникновение которых отвечает относительная разность хода. Обе системы полос при подаче управляющего сигнала на электрооптическую ячейку приходят в движение. Дается теоретическая интерпретация наблюдаемому явлению, согласно которой фазовый сдвиг обуславливается изменением среднего показателя преломления, а контраст — изменением относительной разности показателей преломления, т. е. изменением силы двойного лучепреломления.

В случае распространения частично поляризованного света, наблюдается дополнительный фазовый сдвиг, величина которого оказывается зависимой от степени поляризации света. Так, в эксперименте с электрооптическими ячейками на основе используемых сегнетоэлектрических жидких кристаллов возникает дополнительный фазовый сдвиг до  $\pi/6$  для 100% поляризованного света. Этот дополнительный фазовый сдвиг отнесен к геометрической фазе, возникающей вследствие преобразования состояния поляризации света при распространении его через кристалл. Исследована зависимость геометрической фазы от степени поляризации света.

В третьей главе автор разрабатывает оригинальный метод получения чисто фазовой модуляции света для анизотропных сред, в которых наблюдается изменение двулучепреломления под действием внешних полей. Метод оказывается универсальным, так как он инвариантен относительно поворота оптических осей и не чувствителен ни к степени поляризации, ни к состоянию поляризации. Метод основан на применении зеркала Фарадея, где перед магнитооптической средой, осуществляющей при отражении обмен оптическими путями обыкновенного и необыкновенного лучей, устанавливается среда с индуцируемым двойным лучепреломлением. В такой комбинации происходит не только компенсация нежелательной разности хода, но и выделяется общий «скалярный» фазовый множитель, который оказывается пропорционален среднему показателю преломления. Экспериментально демонстрируется чисто фазовая модуляция света глубиной  $2\pi$  и тем самым решается многолетняя проблема применения этих кристаллов для чисто фазовой модуляции света. Отметим, что универсальность предложенного метода заключается в

расширении перечня прозрачных сред, пригодных для фазовой модуляции света, а также в снятии ограничений на симметрию среды, направление распространения света и его поляризацию.

**В четвертой главе** диссертации описывается фазовый пространственно-временной модулятор света на основе планарно-ориентированных сегнетоэлектрических жидких кристаллов, предназначенный для высокоскоростной генерации световых пучков с ненулевым орбитальным моментом. Пространственно-временной модулятор света представлял собой модулятор в виде сегментированной спиральной фазовой пластинки, формируемой слоем жидких кристаллов, находящимся под действием внешнего электрического поля, различного для смежных сегментов. Продемонстрирована успешная генерация оптических вихрей с топологическим зарядом до 4. Установлено, что для случая параксиального распространения света изменение исходного состояния поляризации света приводит к 13% отклонению распределения энергии в вихре по сравнению со случаем спиральной пластинки, не изменяющей состояние поляризации.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые рассмотрен возникающий набег фазы для случая распространения неполяризованного света через сегнетоэлектрические жидкие кристаллы. Установлено, что кристаллы с индуцированным двойным лучепреломлением вносят фазовую задержку, пропорциональную среднему показателю преломления, равному полусумме показателей преломления. Показано, что глубина фазовой модуляции пропорциональна изменению среднего показателя преломления.
2. Обнаружен дополнительный геометрический фазовый сдвиг для случая частично поляризованного света, распространяющегося через среду с индуцированным двойным лучепреломлением и поворотом оптической оси.
3. Исследована зависимость геометрического фазового сдвига от степени поляризации для случая интерферирующих частично поляризованных пучков света.
4. Предложен подход к фазовой модуляции света, при котором используется эффективный средний показатель преломления.
5. Предложен метод поляризационно-нечувствительной фазовой модуляции, и продемонстрирована чисто фазовая модуляция в планарно-ориентированных сегнетоэлектрических жидких кристаллах с эффектом деформированной спирали.

Следует отметить хороший стиль изложения диссертации. Автор, не перегружая основной материал, вынес в отдельные разделы рассмотрение многочисленных дополнительных вопросов, таких как определения используемых матриц и сопряженных понятий, а также вопросы, связанные с техникой эксперимента. Каждой главе и разделу предшествует краткая аннотация, а в конце приводится резюме с основными результатами.

Тем не менее **диссертация не лишена недостатков**, к которым можно отнести следующие:

1. Следовало бы уделить большее внимание специфике сегнетоэлектрических свойств жидких кристаллов. В частности, нигде не приводится обоснование их высоких скоростных свойств, тогда как частота модуляции упоминается в полученных результатах.
2. В работе упоминается субволновой шаг спирали геликоидальной СЖК структуры. Измерялось ли значение шага спирали? Наблюдался ли в экспериментах эффект зависимости шага спирали от электрического поля?
3. В разделе 3.2 обсуждается эксперимент в геометрии интерферометра Саньяка. Из текста непонятно, проверялась ли экспериментально независимость модуляции от состояния поляризации.
4. Помимо многочисленных случаев пропуска запятых в тексте имеются стилистические недочёты. Так на стр. 35 фигурирует термин «матрица поляризационной плотности», а на стр. 42 и 46 выражения «схема «выстаивалась» и «угол «скоса», содержащие элементы профессионального сленга.
5. В диссертации также имеются разделы, содержание и результаты которых позволяют сформулировать дополнительные защищаемые положения:

Так, в *разделе 1.2* на страницах 24-25 утверждается, что существуют «выделенные» направления в пространстве для всех 32-х классов точечных групп, а также для расширенной группы Кюри, вдоль которых сохраняется сумма собственных показателей преломления, и ставится вопрос об общем количестве этих направлений в природе.

Отдельным результатом, позволяющим сформулировать защищаемое положение, является и оригинальная методика разделения главных напряжений, приведенная на *странице 89*.

**Указанные замечания не являются принципиальными** и не снижают ценности полученных результатов, а последнее замечание даже повышает её. В целом, диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, является оригинальной и завершённой. Полученные в ней результаты и представленные основные положения и выводы являются хорошо обоснованными. Достоверность результатов обусловлена непротиворечивостью принятых физических представлений, хорошим согласием теории с результатами экспериментов, а также исследованиями независимых авторов, подтвердившими результаты диссертационной работы.

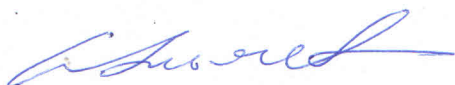
**Результаты работы В. В. Кесаева апробированы** публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах и докладами на международных и российских конференциях и семинарах. Основные результаты **опубликованы** в 9-ти печатных изданиях, 7 из которых входят в международную базу данных «Web of Science» и 2

являются сборниками трудов конференций. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На основании вышесказанного полагаю, что диссертационная работа В. В. Кесаева «Фазовая модуляция частично поляризованного света в средах с индуцируемым двулучепреломлением» является законченной научно-квалификационной работой. Она полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а автор работы Кесаев Владимир Валерьевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. — Оптика.

**Официальный оппонент:**

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры статистической физики Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ)



Ульянов Сергей Владимирович

«18» мая 2022г.

Почтовый адрес: 198504, Санкт-Петербург, ул. Ульяновская 1, СПбГУ, НИИФ им. В.А. Фока, корп. "И", 4 этаж, комн. 447

Телефон: +7 812 428-45-15

E-mail: s.ulyanov@spbu.ru



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

Список основных научных публикаций за последние 5 лет в рецензируемых изданиях официального оппонента доктора физико-математических наук Ульянова Сергея Владимировича по теме диссертации Кесаева В.В. «Фазовая модуляция частично поляризованного света в средах с индуцируемым двулучепреломлением»

1. Oskirko, A. D. Electric field driven transformations of orientational structure in chiral nematic systems with large flexoelectricity / A. D. Oskirko, A. Y. Valkov, S. V. Ul'yanov // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – V.1425 –P. 012176. – DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012176.
2. Ульянов, С. В. Флуктуации директора и спонтанной поляризации в ячейках сегнетоэлектрического смектика С\* / С. В. Ульянов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2019. – Т. 156. – № 3(9). – С. 557-565. – DOI 10.1134/S0044451019090190.
3. Oskirko, A. D. Influence of flexoelectric effect on the Fréedericksz transition in chiral nematic liquid crystals / A. D. Oskirko, S. V. Ul'yanov, A. Y. Val'kov // Physical Review E. – 2018. – Vol. 98. – No 1. – P. 012702. – DOI 10.1103/PhysRevE.98.012702.
4. Oskirko, A. D. Effect of flexoelectricity on the Freedericksz transition in chiral nematics with negative dielectric anisotropy / A. D. Oskirko, S. V. Ul'yanov, A. Yu. Valkov // Journal of Physics: Conference Series, Moscow, 27–31 августа 2018 года. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2018. – V.1141–P. 012147. – DOI 10.1088/1742-6596/1141/1/012147.
5. Ulyanov, S. V. Anisotropy of electrostatic interaction in free-standing smectic-C\* films / S. V. Ulyanov // Physical Review E. – 2017. – Vol. 95. – No 6. – P. 062701. – DOI 10.1103/PhysRevE.95.062701.