

## Винтовые эллиптические поляризационные моды В.Л. Гинзбурга и их применение

Г.Б. Малыкин

*В 1943 г. В.Л. Гинзбург получил простое и изящное решение задачи поляризационной оптики для случая, когда оптическая среда с линейным двулучепреломлением подвергается равномерному скручиванию вдоль оптической оси. В сопровождающей кручение (винтовой) системе координат собственные взаимно ортогональные поляризационные моды такой оптической среды характеризуются двумя эллипсами с противоположным направлением обхода вектора электрического поля. Рассмотрены современные приложения теории В.Л. Гинзбурга.*

**Ключевые слова:** поляризационные моды, винтовая система координат, история физики

PACS numbers: 01.65.+g, 41.20.Jb, 42.25.Lc

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.11.037984>

Цель данной исторической заметки — рассмотреть важный для оптики и электродинамики метод В.Л. Гинзбурга [1] расчёта состояний поляризации излучения (СПИ) при наличии как линейного, так и обусловленного кручением оптической среды циркулярного двулучепреломления. Для этого в [1] было предложено использовать сопровождающую кручение среды так называемую винтовую систему координат (ВСК). Будет также кратко рассмотрено преимущество вычисления СПИ в ВСК по сравнению с лабораторной системой координат (ЛСК), а также некоторые приложения и дальнейшее развитие метода В.Л. Гинзбурга. Работа [1] не связана с основными направлениями научной деятельности В.Л. Гинзбурга и была опубликована в сложное время Великой Отечественной войны (ВОВ), вследствие чего известна далеко не всем специалистам в области оптики и электродинамики анизотропных сред. Несмотря на то что метод [1] нашёл весьма широкое применение и в настоящее время является классическим, автору известно всего несколько десятков ссылок на [1], причём эти ссылки, в основном, приводятся в работах учеников В.Л. Гинзбурга, учеников его учеников и исследователей, которые непосредственно с ним контактировали.

В 1943 г. В.Л. Гинзбург рассмотрел задачу об исследовании механических напряжений оптическим методом для самого общего случая, когда одновременно имеют место и напряжения поперечного сжатия (растяжения) или изгиба и кручения [1]. В этом случае, если нагружаемое тело является прозрачным и изотропным, то механические напряжения приводят к возникновению в нём двулучепреломления двух типов: линейного, под воздействием напряжения сжатия (растяжения) или изгиба, и

циркулярного, под воздействием напряжения кручения. Для описания эволюции СПИ при его распространении вдоль оптической оси исследуемого образца требуется решить дифференциальное уравнение Риккати, которое для произвольного закона кручения образца вдоль оптической оси не имеет решения в квадратурах [2]. В.Л. Гинзбург получил простое и изящное решение, не прибегая к решению уравнения Риккати, для чего перешёл в сопровождающую кручение образца ВСК. В ВСК две собственные (нормальные) взаимно ортогональные поляризационные моды есть два эллипса с противоположным направлением обхода вектора электрического поля, причём, при отсутствии дихроизма, оси эллипсов взаимно ортогональны и не вращаются, а оси эллипсов в ЛСК испытывают вращение при распространении вдоль оптической оси среды, которое численно равно геометрическому кручению среды [1]. Позднее эти моды получили наименование "винтовые эллиптические поляризационные моды" (ВЭПМ).

Рассматриваемый В.Л. Гинзбургом вопрос возник в связи с изучением механических напряжений методом фотоупругости (см. обзор [3]). Этот метод предназначен для исследования распределения механических напряжений в различных сооружениях, конструкциях и деталях, возникающих как под воздействием собственного веса, так и под воздействием внешних сил. Для этого из прозрачного изотропного материала изготавливается модель исследуемого объекта, как правило, уменьшенная, которая помещается между двумя скрещёнными линейными поляризаторами. На входной поляризатор поступает свет и, при отсутствии нагрузок, на выходе второго, скрещённого поляризатора свет отсутствует. Но при наличии нагрузок в прозрачном материале возникает двулучепреломление того или иного типа, и на выходе второго поляризатора можно наблюдать некоторое распределение интенсивности света, по которому можно вычислить локализацию механических напряжений в объекте, а также их тип и интенсивность.

Эффект фотоупругости в 1816 г. впервые обнаружил Д. Брюстер [4], однако он не исследовал механическое напряжение кручения. В 1847–1850 гг. Дж.К. Максвелл

Г.Б. Малыкин. Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной физики РАН,  
ул. Ульянова 46, ГСП, 603950 Нижний Новгород,  
Российская Федерация  
E-mail: malykin@ufp.appl.sci-nnov.ru

Статья поступила 14 апреля 2016 г.,  
после доработки 11 ноября 2016 г.

изучал одновременное возникновение линейного и циркулярного двулучепреломления в прозрачном материале под воздействием различных механических напряжений, в том числе и кручения [5]. Однако он не смог объяснить это явление, и эксперименты [5] были надолго забыты [3]. В дальнейшем такие эксперименты проводились в России и СССР [6], Германии и США [3]. Обзор этих экспериментов является предметом отдельного рассмотрения. Ранние попытки теоретической интерпретации данного явления нельзя признать удачными [3], и в начале 1940-х годов возникла потребность в создании физической модели эволюции СПИ для этой задачи.

Основополагающая работа В.Л. Гинзбурга [1] поступила в редакцию *ЖТФ* 03.06.1943 г. и, следовательно, была написана им в Казани, куда в то время был эвакуирован Физический институт АН СССР (ФИАН) и откуда В.Л. Гинзбург вернулся в Москву только в конце 1943 г. [7], и была опубликована в марте 1944 г. Рассмотрим теоретический метод В.Л. Гинзбурга. Ссылаясь на свою работу [8], в [1] он указывает, что (при цитировании [1] мы сохраняем обозначения [1]): "*В общем случае распространения света в неоднородной анизотропной среде наблюдается весьма сложная картина... Нахождение траектории лучей и поляризации обеих волн<sup>1</sup>... практически невыполнимо, так как требует решения довольно сложных дифференциальных уравнений*".

Затем В.Л. Гинзбург последовательно упрощает задачу, поскольку в реальных случаях линейное двулучепреломление оптического материала мало по сравнению с единицей и, следовательно, как электрическое поле луча  $\mathbf{E}$ , так и электрическая индукция  $\mathbf{D}$  направлены по нормали к лучу. Кроме того, он рассматривает случай, когда луч направлен вдоль главной оптической оси. Далее В.Л. Гинзбург отмечает в [1]:

*"Результирующее колебание  $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$ , где  $\mathbf{E}_1$  и  $\mathbf{E}_2$  — нормальные колебания, т.е. колебания, соответствующие определённой скорости распространения, являются эллиптическими. Эллиптичность вдоль луча меняется в силу изменения разности фаз между  $\mathbf{E}_1$  и  $\mathbf{E}_2$ ".*

Таким образом, В.Л. Гинзбург первым понял, что при наличии линейного двулучепреломления и кручения собственные (нормальные) поляризационные моды являются эллиптическими, причём в ЛСК азимуты осей эллипсов и эллиптичность меняются вдоль луча. Вследствие этого он вводит новые оси  $y$  и  $z$ , которые поворачиваются вдоль луча (вдоль оси  $x$ ) и в которых, в отличие от неподвижных осей  $y'$  и  $z'$ , эллиптичность собственных поляризационных мод сохраняется вдоль луча. Оси  $y$  и  $z$  и есть оси ВСК. Он также находит расстояние вдоль луча, при прохождении которого СПИ возвращается к исходному — в настоящее время это именуется длиной поляризационных биений.

В.Л. Гинзбург в [1] много внимания уделяет выполнению условий применимости геометрической оптики, которые обеспечивают справедливость принятых им приближений. В частности, должно выполняться условие

$$A\lambda \ll 1, \quad (1)$$

где, в обозначениях [1],  $A = 2\varphi/x$ ,  $\varphi$  — угол поворота осей  $y$  и  $z$  на расстоянии  $x$ ,  $\lambda$  — длина волны света в вакууме. Фактически,  $A$  есть циркулярное двулучепреломление, наведённое кручением оптической среды. Условие (1) означает, что кручение осей на длине волны света очень мало. Второе условие возможности приме-

нения геометрической оптики имеет вид [1]

$$R = \frac{A\lambda}{2\pi\delta n} \ll 1, \quad (2)$$

где  $\delta n = n_y - n_z$  — разность показателей преломления в медленной и быстрой осях линейного двулучепреломления среды, отнесённая к ВСК. Поскольку  $2\pi\delta n/\lambda$  — линейное двулучепреломление, то физический смысл параметра  $R$  — это отношение величины наведённого кручением циркулярного двулучепреломления к линейному, и, соответственно, условие (2) означает, что это циркулярное двулучепреломление должно быть много меньше линейного. В то же время в [1] указано, что при  $\delta n \rightarrow 0$  приближение геометрической оптики неприменимо.

В [1] отмечено, что решение может быть получено в общем виде даже при произвольном  $R$ , но при выполнении условия (1) и ещё двух дополнительных условий:  $(\partial n/\partial x)\lambda \ll 1$  и  $\delta n \ll 1$ . Для этого нужно использовать предложенный в работе В.Л. Гинзбурга [8] метод разложения по степеням малого параметра  $\lambda$ .

Таким образом, было получено решение для величины эллиптичности собственных ВЭПМ. Остаётся найти величину эллиптического двулучепреломления этих мод. Далее В.Л. Гинзбург пишет [1]:

*"Мы не будем, однако, останавливаться здесь на подобном рассмотрении, так как в интересном для фотоупругости случае прямолинейного распространения... задачу можно решить строго и со всей полнотой. Соответствующий метод уже был, по существу, применён Друке-ром и Миндлиным [9]<sup>2</sup>. Однако использование ими обозначений теории упругости и желание подчеркнуть ряд деталей и выводов делает, как нам кажется, целесообразным кратко рассмотреть здесь этот вопрос по-иному".*

Однако внимательное рассмотрение [9] показывает, что эта работа посвящена в основном вопросам механических деформаций упругой среды, а что касается оптики, то там указано только на распространение эллиптической поляризации света в сжатой и скрученной оптической среде. На то, что эллиптичность собственных поляризационных мод сохраняется в ВСК, в [9] не указано. Более того, для оптических вычислений в [9] применяется теория "светоносного эфира".

В.Л. Гинзбург решил задачу о нахождении собственных поляризационных мод в оптической среде при наличии линейного и циркулярного двулучепреломления строго, с помощью уравнений Максвелла для тензора диэлектрической проницаемости оптической среды  $\varepsilon$ . В качестве исходных уравнений он записал систему из двух дифференциальных уравнений второго порядка по  $dx^2$  для компонент вектора электрических полей  $E_{y'}$  и  $E_{z'}$  в системе отсчёта  $x, y', z'$ . В этих уравнениях в качестве постоянных членов фигурируют также компоненты вектора электрической индукции  $D_{y'}$  и  $D_{z'}$ . Потом осуществляется переход в ВСК  $x, y, z$  и записывается соответствующая система из дифференциальных уравнений второго порядка для  $E_y$  и  $E_z$ , причём сделана подстановка  $D_y = (\varepsilon_0 + \delta\varepsilon_y)E_y$ ,  $D_z = (\varepsilon_0 + \delta\varepsilon_z)E_z$ . Кроме того, в этих уравнениях появляются первые производные от  $E_y$  и  $E_z$  по  $dx$ . В результате выводится выражение для постоянных распространения ВЭПМ [1]:

$$k_{\pm} = \frac{\omega}{c} n_0 + \frac{\delta n_y + \delta n_z}{2} \pm \frac{\delta n_y - \delta n_z}{2} \sqrt{1 + R^2}, \quad (3)$$

где  $c$  — скорость света в вакууме,  $n_0 = \sqrt{\varepsilon_0}$ ,  $\delta n_y = \delta\varepsilon_y/2\sqrt{\varepsilon_0}$ ,  $\delta n_z = \delta\varepsilon_z/2\sqrt{\varepsilon_0}$ .

<sup>1</sup> Обыкновенной и необыкновенной. (Примеч. Г.Б. Малыкина.)

<sup>2</sup> В [1] работа [9] дана под номером [5]. (Примеч. Г.Б. Малыкина.)

Разность фаз между излучением, прошедшим по различным ортогональным ВЭПМ, составит [1]:

$$A = \frac{2\pi}{\lambda} (\delta n_y - \delta n_z) \sqrt{1 + R^2} x. \quad (4)$$

Как отмечено в [1], при выполнении условия (2) ( $R \ll 1$ ) имеет место полное "увлечение" поля вращающимися осями, т.е. оси эллипсов поляризации ортогональных собственных поляризационных мод в точности отслеживают кручение оптических осей среды.

В 1960 г. в первом издании монографии [10] при рассмотрении распространения электромагнитных волн в замагниченной плазме В.Л. Гинзбург применил результаты [1]. Ниже мы кратко рассмотрим дальнейшее развитие метода В.Л. Гинзбурга.

В 1968 г. Ю.А. Кравцов в работе [11] рассмотрел случай, когда, как показано в [10], приближение геометрической оптики в виде независимых ортогональных волн неприменимо. Тем не менее в [11] было показано, что, используя результаты С.М. Рытова [12] (квазиизотропное приближение), можно получить геометрикооптическое решение уравнений Максвелла.

В 1972 г. Е.В. Суворов в работе [13] рассмотрел задачу о распространении нормальных волн в плазме с сильным широм магнитного поля (поворотом вектора магнитного поля, перпендикулярного направлению луча, вокруг направления распространения излучения, или, иными словами, с винтовой структурой магнитного поля). В [13] в геометрикооптическом приближении рассматривалось нахождение нормальных волн в однородной плазме с равномерным широм.

Впоследствии ряд работ о различных приложениях ВЭПМ был опубликован учеником В.Л. Гинзбурга В.В. Железняковым и его учениками — В.В. Кочаровским и Вл.В. Кочаровским (см. обзор [14]). В этих работах была рассмотрена структура винтовых волн в среде с вращением осей анизотропии при произвольном тензоре диэлектрической проницаемости, показана неортогональность винтовых волн даже в отсутствие поглощения, построена их геометрическая оптика и выведены общие уравнения линейного взаимодействия, явно учитывающие "винтовую" симметрию электродинамических свойств сплошной среды. На основе качественного анализа и ряда точных и приближённых решений этих уравнений были изучены особенности линейного взаимодействия винтовых волн в неоднородных слабоанизотропных средах с неравномерным вращением осей анизотропии и рассмотрены вопросы переноса поляризации излучения в магнитоактивной плазме с широм магнитного поля, линейного взаимодействия световых волн в холестерических (изначально закрученных) жидких кристаллах (ЖК) и скрученных ОВС.

Около 40 лет назад возникла проблема описания эволюции степени поляризации немонахроматического излучения при его распространении в ОВС со случайными неоднородностями, а также расчёта дрейфа нуля волоконных кольцевых интерферометров (ВКИ), обусловленных этими неоднородностями. Для решения этой проблемы автором совместно с В.И. Поздняковой и И.А. Шерешевским была разработана статистическая модель случайных неоднородностей в ОВС, которая в качестве основной причины связи ортогональных поляризационных мод рассматривает случайные кручения осей линейного двулучепреломления ОВС, возникающие в момент вытяжки волокна из заготовки, когда оно ещё не полностью застыло [15]. Таким образом, на каждом случайном отрезке ОВС имеют место различ-

ные ВЭПМ. Предложенная в [15] модель, в отличие от известных качественных интегральных моделей ОВС, адекватно объясняет известные эксперименты по измерению параметра сохранения поляризации в ОВС и позволяет получить аналитические выражения для степени поляризации немонахроматического излучения и сдвига нуля в ВКИ с контуром из ОВС с произвольным двулучепреломлением. Результаты данных исследований были опубликованы в ряде работ и изложены в монографиях [16, 17].

Рассмотрим теперь преимущества предложенной В.Л. Гинзбургом ВСК [1] перед ЛСК, впервые в полной мере продемонстрированные в обзоре [14] путём явного построения геометрической оптики винтовых волн и теории их линейного взаимодействия, которые представляют собой существенный шаг вперёд в изучении поляризационных особенностей волновых полей в неоднородных средах по сравнению с часто используемым подходом собственных векторов матриц Джонса. Как показано в нашей работе [18], описание ВЭПМ возможно как с помощью аналитических выражений в формализме собственных векторов матриц Джонса [19], так и более наглядным методом сферы Пуанкаре (СП) [19–21]. Ограниченный объём данного сообщения не позволяет привести здесь эти выражения, однако из [18] следует, что в ВСК они существенно проще, чем в ЛСК. Соответственно, эволюция СПИ собственных ВЭПМ в зависимости от оптической длины скрученной среды на СП в ЛСК представляет собой довольно сложную кривую, а в ВСК — неподвижную точку на СП [18]. Даже для не-собственных ВЭПМ эволюция СПИ на СП существенно проще в ВСК, чем в ЛСК [18].

Следует отметить, что в работах [22, 23], опубликованных ранее [1], рассматривались холестерические ЖК. В [22] указано, что существует выделенная ВСК, но не осуществлено разложение исходной линейной поляризации света по собственным модам ВСК — ВЭПМ и, соответственно, не реализованы возможности метода [1]. В [23] не указано на существование выделенной ВСК и не учтена эллиптичность собственных ВЭПМ. То есть авторы [22, 23] были близки к получению выражений для ВЭПМ, но так не достигли конечного результата.

В 2008 г. В.Л. Гинзбург сообщил автору, что помнит свою работу [1] и что получить выражения для ВЭПМ ему было довольно просто, а во время написания [1] он был очень молод [24].

**Дополнение при корректуре.** При корректуре данной статьи Борис Михайлович Болотовский сообщил весьма интересную историю, имеющую непосредственное отношение к данной работе, а точнее говоря, к практическому приложению результатов работы В.Л. Гинзбурга [1].

В самом конце 1940-х гг. Московскому электроламповому заводу (МЭЗ) было поручено освоить производство кинескопов для телевизионных приёмников. До этого на МЭЗ изготавливались только лампочки накаливания, опыт производства кинескопов отсутствовал и 97 % кинескопных колб лопались при остывании, в основном в том месте, где горловина начинает расширяться. Эту проблему взялся устранить сотрудник МЭЗ (в 1950–1955 гг. сотрудник Института электровакуумного стекла) Владимир Львович Инденбом (1924–1998, см. о нём [25]) — участник ВОВ, капитан запаса, выпускник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Он хорошо знал работу В.Л. Гинзбурга [1] и предложил с помощью рассмотренного в [1] поляризационного метода наблюдения механических напряжений в оптиче-

ской среде, заключённой между двумя скрещенными поляризаторами, выявлять указанные напряжения в колбах кинескопов. Вначале рационализаторское предложение В.Л. Инденбома было встречено на МЭЗ довольно холодно, и он ходил на консультацию к В.Л. Гинзбургу<sup>3</sup> в ФИАН, где получил ряд ценных указаний, а главное, убедился в своей правоте. Авторитет В.Л. Гинзбурга повлиял на руководство МЭЗ, и распределение Инденбома (основанное на статье В.Л. Гинзбурга [1]) было принято. После выявления мест локализации механических напряжений в кинескопных колбах Инденбом предложил отправлять горячие колбы в печь для отжига, что позволило в значительной мере снять напряжения.

После введения поляризационного контроля и применения отжига число бракованных изделий упало с 97 % до 3 %. Работа В.Л. Гинзбурга [1] позволила наладить массовый выпуск телевизионных приёмников чёрно-белого изображения в СССР. Таким образом, чисто теоретическая работа В.Л. Гинзбурга [1] имела и сугубо практическое применение. В 1955 г. В.Л. Инденбом защитил кандидатскую диссертацию [26] и, по рекомендации В.Л. Гинзбурга, был приглашён М.В. Классен-Неклюдовой в Институт кристаллографии АН СССР, где в 1966 г. занял должность заведующего теоретическим отделом.

**Благодарности.** Автор благодарен В.Л. Гинзбургу за обсуждения результатов [1]. Автор выражает благодарность В.М. Геликонову, В.В. Королихину за ряд полезных обсуждений, Э. Горгуйону, Г.В. Колесниковой, Э.Г. Малыкину, В.И. Поздняковой и П.А. Шилигину — за помощь в работе. Работа поддержана проектом по Государственному заданию № 0035-2014-0018 и, частично, грантом совета при Президенте РФ по поддержке ведущих научных школ № НШ-8489.2016.2.2.

## Список литературы

1. Гинзбург В Л *ЖТФ* **14** 181 (1944)
2. Azzam R M A, Bashara N M *Ellipsometry and Polarized Light* (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1977); Пер. на русск. яз.: Аззам Р, Башара Н *Эллипсометрия и поляризованный свет* (М.: Мир, 981)
3. Mindlin R D *J. Appl. Phys.* **10** 222 (1939); *J. Appl. Phys.* **10** 273 (1939); Пер. на русск. яз.: Миндлин Р *УФН* **23** 16 (1940)

<sup>3</sup> В.Л. Инденбому в 1949 г. не к кому больше было обратиться за консультацией, кроме как к В.Л. Гинзбургу, так как доцент Ленинградского государственного университета (ЛГУ) Лидия Эдуардовна Прокофьева-Михайловская (автор [6] и переводчик [3] в *УФН*), которая читала лекции по оптическим методам на кафедре теории упругости математико-механического факультета ЛГУ и под руководством которой в 1926–1930 гг. была создана первая в СССР лаборатория поляризационно-оптического метода исследования напряжений, умерла от голода в феврале 1942 г. в Ленинграде [27].

4. Brewster D *Phil. Trans. R. Soc. London* **106** 156 (1816)
5. Maxwell J C D *Trans. R. Soc. Edinburgh* **20** (1) 87 (1850–1853)
6. Прокофьева-Михайловская Л Э *УФН* **23** 13 (1940)
7. Гинзбург В Л "Заметки астрофизика любителя", в кн. *О науке, о себе и о других* 2-е изд. (М.: Физматлит, 2001) с. 314; Пер. на англ. яз. 3-го русск. изд.: Ginzburg V L *About Science, Myself, and Others* (Bristol: IOP Publ., 2005)
8. Гинзбург В Л *ЖЭТФ* **10** 601 (1940); Ginzburg V L *J. Phys. USSR* **3** 95 (1940)
9. Drucker D C, Mindlin R D *J. Appl. Phys.* **11** 724 (1940)
10. Гинзбург В Л *Распространение электромагнитных волн в плазме* (М.: Физматгиз, 1960); Пер. на англ. яз.: Ginzburg V L *The Propagation of Electromagnetic Waves in Plasmas* (Oxford: Pergamon Press, 1964); Гинзбург В Л *Распространение электромагнитных волн в плазме* 2-е изд. (М.: Наука, 1967); Пер. на англ. яз.: Ginzburg V L *The Propagation of Electromagnetic Waves in Plasmas* (Oxford: Pergamon Press, 1970); Гинзбург В Л *Распространение электромагнитных волн в плазме* 3-е изд. (М.: Ленанд, 2015)
11. Крацов Ю А *ДАН СССР* **183** 74 (1968); Kravtsov Yu A *Sov. Phys. Dokl.* **13** 1125 (1969)
12. Рытов С М *ДАН СССР* **18** 263 (1938); Rytov S M *C.R. (Dokl.) Acad. Sci. USSR* **18** 263 (1938)
13. Суворов Е В *Изв. вузов Радиофизика* **15** 1320 (1972); Suvorov E V *Radiophys. Quantum Electron.* **15** 1008 (1972)
14. Железняков В В, Кочаровский В В, Кочаровский В Л *УФН* **141** 257 (1983); Zheleznyakov V V, Kocharovskii V V, Kocharovskii V I *Sov. Phys. Usp.* **26** 257 (1983)
15. Малыкин Г Б, Позднякова В И, Шерешевский И А *Оптика и спектроскопия* **83** 843 (1997); Malykin G B, Pozdnyakova V I, Shereshevskii I A *Opt. Spectrosc.* **83** 780 (1997)
16. Малыкин Г Б, Позднякова В И *Поляризационные эффекты в кольцевых интерферометрах* (Н. Новгород: ИПФ РАН, 2008)
17. Malykin G B, Pozdnyakova V I *Ring Interferometry* (Berlin: De Gruyter, 2013)
18. Малыкин Г Б, Позднякова В И *Оптика и спектроскопия* **122** (1) (2017) в печати; Malykin G B, Pozdnyakova V I *Opt. Spectrosc.* **122** (1) (2017) in press
19. Shurkliff W A *Polarized Light* (Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press, 1962); Пер. на русск. яз.: Шерклифф У *Поляризованный свет* (М.: Мир, 1965)
20. Малыкин Г Б *Изв. вузов Радиофизика* **40** 265 (1997); Malykin G B *Radiophys. Quantum Electron.* **40** 175 (1997)
21. Малыкин Г Б, Позднякова В И *УФН* **174** 303 (2004); Malykin G B, Pozdnyakova V I *Phys. Usp.* **47** 289 (2004)
22. Mauguin Ch-V *Bull. Soc. Française de Minéralogie* **34** 71 (1911)
23. Oseen C W *Trans. Faraday Soc.* **29** 883 (1933)
24. Малыкин Г Б, в сб. *Виталий Гинзбург в воспоминаниях друзей и современников* (Сост. и науч. ред. Ю М Брук) (М.: Физматлит, 2011) с. 350
25. "Владимир Львович Инденбом (к 85-летию со дня рождения)" *Кристаллография* **54** 963 (2009); "Vladimir L'vovich Indenbom (on the occasion of his 85th birthday)" *Crystallogr. Rep.* **54** 915 (2009)
26. Инденбом В Л "Поляризационно-оптическое исследование внутренних напряжений в стеклоизделиях", Автореф. дисс. ... канд. техн. наук (М.: М-во высш. образования СССР, Моск. ордена Ленина хим.-технол. ин-т им. Менделеева, 1955)
27. Павилайнен В Я, Архангельская Л А "Женщины и война" *Журнал "Санкт-Петербургский университет"* № 6 (№ 3848) от 4 мая 2012 г.; <http://journal.spbu.ru/?p=6824>

## V.L. Ginzburg's helical elliptic polarization modes and their application

G.B. Malykin. Federal Research Center, Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, ul. Ul'yanova 46, BOX, 603950 Nizhny Novgorod, Russian Federation. E-mail: malykin@ufp.appl.sci-nnov.ru

In 1943 V.L. Ginzburg derived a simple and elegant solution to the polarization optics problem for the case where a linear birefringent medium is uniformly twisted along the optical axis. In a torsion-comoving helical coordinate frame, mutually orthogonal polarization eigenmodes of such optical medium are characterized by two ellipses with the electric field vector bypassed in the opposite sense. Current applications of V.L. Ginzburg's theory are reviewed.

**Keywords:** polarization modes, helical system of coordinates, history of physics

PACS numbers: **01.65. + g**, 41.20.Jb, 42.25.Lc

Bibliography — 27 references

*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **186** (12) 1355–1358 (2016)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.11.037984>

Received 14 April 2016, revised 11 November 2016

*Physics – Uspekhi* **59** (12) (2016)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2016.11.037984>