

Поляризация когерентного оптического излучения в движущейся среде

© В.О. Гладышев, Д.И. Портнов, В.Л. Кауц, Т.М. Гладышева

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Представлены результаты экспериментальных исследований зависимости поляризации когерентного оптического излучения с длиной волны $\lambda = 0,632991$ мкм во вращающемся оптически прозрачном диске от частоты вращения. Обнаружен переходный процесс поворота плоскости поляризации, а также изменения степени эллиптичности в течение 15...20 мин при установившейся частоте вращения. Измерения проводились на разных частотах в диапазоне от нуля до 200 Гц. В области частот 10...30 Гц наблюдался угол поворота поляризации до 80...90°. При дальнейшем росте частоты вращения оптического диска угол поворота уменьшался до 10...20°.

Ключевые слова: поляризация, оптическое излучение, лазер, электродинамика, движущиеся среды.

Введение. Исследование процессов распространения электромагнитного излучения в движущейся среде основывается на выводе электродинамики Максвелла: движение среды приводит к тому, что скорость света в разных направлениях становится различной. Первые исследования зависимости поляризации света от движения среды были выполнены в теоретических работах Г. Лоренца [1] и экспериментах И. Физо [2]. Эффект поворота плоскости поляризации монохроматической электромагнитной волны, падающей нормально на вращающийся однородный и изотропный диэлектрик, был предсказан в работе [3].

Вращение оптической среды должно приводить к повороту плоскости поляризации излучения, прошедшего через вращающийся диск или цилиндр на угол, который линейно зависит от частоты вращения и длины оптического пути в среде.

Для вращательной способности диэлектрика получено следующее выражение:

$$R = \frac{n^2 - 1}{n^2} \frac{\omega n}{c}.$$

Умножив это выражение на длину оптического пути в среде, можно определить угол поворота плоскости поляризации в радианах.

Современная оценка данного эффекта при нормальном падении луча на поверхность тангенциального разрыва вращающегося ди-

электрика приведено в работе [4]. Плоскость поляризации прошедшего цилиндра оптического излучения повернется на угол

$$\Delta\varphi = \left(n_g - \frac{1}{n_\varphi} \right) \frac{\omega l}{c}, \quad (1)$$

где n_g , n_φ – показатели преломления для групповой и фазовой скоростей света; l – длина оптического пути в среде; ω – угловая частота вращения цилиндра; c – скорость света в вакууме.

Однако для типичных оптических стекол и параметров движения результирующий угол имеет порядок микро радиан. Из приведенных выражений следует, что угол поворота плоскости поляризации линейно зависит от коэффициента увлечения Френеля и времени, в течении которого монохроматический свет распространяется во вращающейся оптически неактивной среде.

Об экспериментальной регистрации этого эффекта сообщается в работе [5]. Лазерное излучение проходило через цилиндрический стержень диаметром 20 мм и длиной 100 мм, изготовленный из тяжелого флинта с показателем преломления $n = 1,840$ для $\lambda = 632,8$ мкм. Частота вращения стержня достигала 6000 об/мин, угол поворота плоскости поляризации $\Delta\varphi = 2 \times 10^{-6}$ рад при частоте вращения 100 Гц. Таким образом, в работе [5] продемонстрирована линейная зависимость угла поворота плоскости поляризации от частоты вращения оптического цилиндра.

Расчеты показывают, что значение угла поворота плоскости поляризации когерентного излучения обычно невелико и имеет порядок микро радиан, что затрудняет экспериментальное исследование этого эффекта. При описании данного явления считается, что при вращении оптически прозрачный цилиндр или диск продолжает оставаться однородным и изотропным. Однако при значительных скоростях вращения может возникать анизотропия оптических свойств, вызванная движением среды.

Изучению поворота плоскости поляризации и изображения во вращающемся диэлектрике посвящен ряд работ [6 – 8], в которых показано, что угол поворота изображения или плоскости поляризации имеет прямую зависимость от угловой скорости вращения цилиндра. При обсуждении полученных результатов необходимо учитывать сложность молекулярных процессов в ускоренной движущейся среде, которые пока еще недостаточно изучены. Возможно, что на распространение когерентного электромагнитного излучения во вращающемся диэлектрике оказывает влияние эффект отклонения от пря-

молинейности [9]. При нерелятивистских скоростях движения среды искривление лучей, распространяющихся во вращающемся диэлектрике, может оказывать заметное влияние [10]. Кроме того, процессы распространения излучения зависят от того, каким образом излучение вводится в движущуюся среду. В частности, эффект Физо зависит от прицельного параметра: чем дальше от оси вращения проходит луч, тем больше изменяется его фазовая скорость. Также на изучаемые процессы может оказывать влияние некогерентность излучения, что приводит к появлению дисперсии в среде. Приведенные эффекты, так же как классические эффекты Физо и Ферми следуют из решения уравнений Максвелла, и, как правило, они в первом порядке линейно зависят от скорости движения среды.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ, представленные в данной работе, свидетельствуют, что в используемой оптической схеме при выбранных параметрах оптического диска (ОД) наблюдается нелинейная зависимость поворота плоскости поляризации от частоты вращения диска.

Описание экспериментального стенда. Исследовали поляризацию когерентного излучения от лазера с длиной волны $\lambda = 0,632991$ мкм, прошедшего вращающийся ОД, выполненный из стекла ТФЗ с показателем преломления $n = 1,71250$ для $\lambda = 0,6328$ мкм, при угле падения на плоскую поверхность диска $\vartheta_0 = 60^\circ$. Диаметр ОД $D = 62$ мм. Для увеличения оптического пути на плоские поверхности ОД нанесены металлические отражающие покрытия. Геометрическая длина пути луча в среде в проекции на плоскую поверхность диска $l = 41$ мм (рис. 1).

Рис. 1. ОД, на плоские поверхности которого нанесены отражающие покрытия для увеличения оптического пути в движущейся среде (электромагнитная волна с волновым вектором \vec{k}_0 падает на первую плоскую поверхность ОД под углом $\vartheta_0 = 60^\circ$)

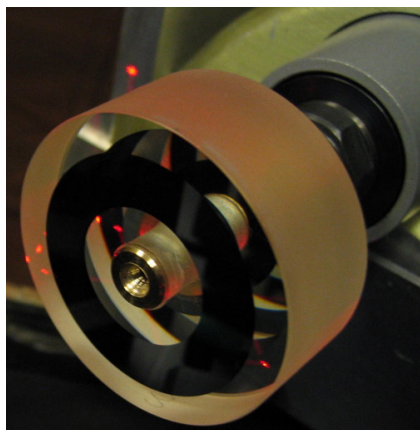


Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. В зависимости от положения поляризатора $P1$ выбиралась горизонтальная или вертикальная линейная поляризованная компонента излучения. Излучение от лазера ЛГН 302 проходило через оптическую

систему $OS1$ и разделялось на светоделительной пластине BS на два луча, которые распространялись в кольцевой схеме прибора в различных направлениях. Лучи отражались от зеркал $M1$ и $M2$, проходили через ОД OD и снова проходили светоделитель BS . После выхода из кольцевой схемы лучи, шедшие через поляризатор $P2$ и оптическую систему $OS2$, попадали на фотодетектор PD .

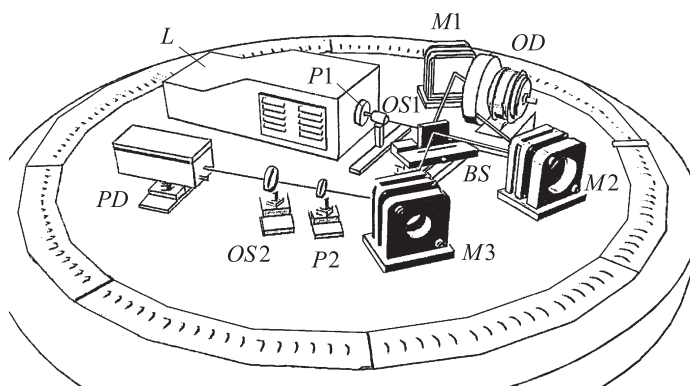


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Оптическая схема позволяет исследовать амплитудные и фазовые характеристики излучения [11] с получением интерференционной картины и без нее.

Сначала были получены зависимости напряжения на PD от угла поворота φ поляризатора $P2$ для вертикальной и горизонтальной спектральных составляющих излучения при неподвижном положении OD (см. рис. 2). Для двух лучей, прошедших OD в противоположных направлениях, эти зависимости оказались сдвинуты приблизительно на 20° . Это объясняется тем, что лучи распространялись по различным траекториям и взаимодействовали с BS при разных условиях.

Положительным значениям угла поворота поляризатора $P2$ соответствовало направление поворота против часовой стрелки для наблюдателя, который видит призму по ходу лучей т. е. со стороны OD . Началу отсчета угла поворота φ поляризатора соответствовало положение поляризатора с минимумом прошедшего света при неподвижном OD . После запуска двигателя интенсивность пятен света в плоскости PD изменялась. Поворачивая $P2$, можно получить график зависимости угла поворота поляризации для каждого луча от частоты вращения OD .

Зависимость амплитуды сигнала на фотодетекторе от частоты вращения ОД. При исследованиях измеряли напряжение на выходе фотодетектора PD (см. рис. 2) при исходной ориентации плоскости поляризации и после ее поворота при различных частотах вра-

щения OD , а также угол поворота. Вначале измерений после выхода лазера на установившийся режим определили угол поворота поляризатора $P2$, при котором проходящий через него сигнал оказывался минимальным. При этом положении поляризатора измеряли первое значение амплитуды сигнала на всех частотах вращения OD . После начала вращения диэлектрика сигнал с фотодетектора возрастал вследствие поворота плоскости поляризации. Для определения угла поворота $\Delta\varphi$ плоскости поляризации поляризатор $P2$ поворачивали таким образом, чтобы интенсивность проходящего через поляризатор света становилась минимальной. Затем сравнивали значения измеренных пар амплитуд сигнала в исходном положении поляризатора и после его поворота до минимума сигнала. Измерения проводили в интервале частот $f = 100 \dots 220$ Гц. Результаты измерений представлены на рис. 3.

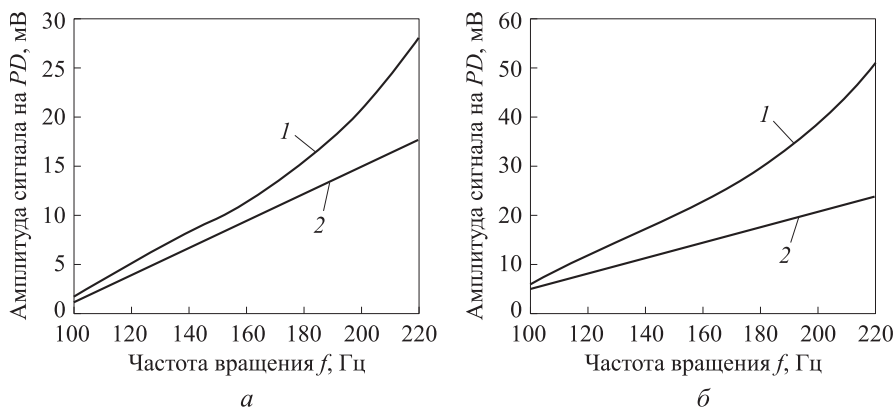


Рис. 3. Зависимость напряжения на фотодетекторе (амплитуда сигнала) от частоты вращения диска при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации излучения:

1 – при начальном положении поляризатора; 2 – после поворота поляризатора до минимума сигнала

При этом время между измерениями на разных частотах составляло 1...2 мин, что достаточно для выхода OD в устоявшийся режим вращения.

Таким образом, при увеличении частоты вращения OD происходит рост амплитуды сигнала на PD . После выхода OD на установившийся режим поворотом поляризатора не удастся погасить сигнал на PD до предельно малых значений, т. е. до уровня шума. Следовательно, можно сделать предварительное заключение, что при увеличении частоты вращения OD степень поляризации уменьшается.

Поворот плоскости поляризации излучения в движущейся среде. После выхода OD на установившийся режим вращения возникает переходный процесс, в течение которого плоскость поляриза-

ции медленно поворачивается во времени. Это приводит к дрейфу амплитуды сигнала на PD и угла поворота плоскости поляризации во времени при фиксированной частоте вращения f . Для иллюстрации этого явления проведено исследование угла поворота плоскости поляризации луча и степени эллиптичности во времени при частоте $f = 150$ Гц, а затем повторялось на разных частотах.

Вначале получили интерференционную картину двух лучей при их вертикальной поляризации на выходе лазера. Интерференционная картина представляет собой последовательность полос на экране, в плоскости которого установлен PD . При вращении OD полосы совершают циклическое движение так, что интенсивность света в апертуре PD изменяется во времени. Это приводит к появлению временной зависимости напряжения на PD .

В эксперименте измеряли амплитуду временного сигнала в максимуме. Перед началом эксперимента лучи юстировали так, чтобы максимум интенсивности сигнала (яркая часть пятна) попадал в апертуру PD . После начала вращения OD измеряли амплитуду сигнала в максимуме временной зависимости напряжения на PD при исходном положении блока с призмой Глана, а также после поворота поляризатора на некоторый угол, вызванного эффектом поворота поляризации лучей (призма поворачивалась так, чтобы сигнал снова становился минимальным). Затем призма возвращалась в исходное положение. Измерения повторяли с интервалом 5 мин. Результаты измерений в течение 140 мин представлены на рис. 4.

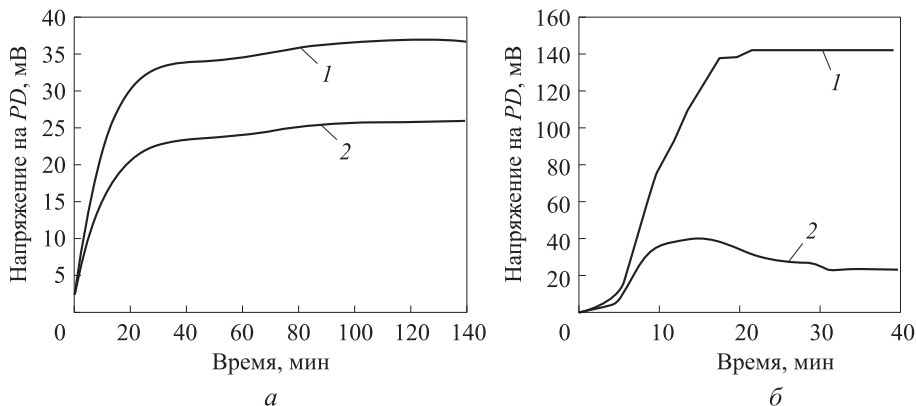


Рис. 4. Зависимость амплитуды напряжения на PD в максимуме от времени при частоте, равной 150 (*а*) и 50 Гц (*б*):

1 – амплитуда сигнала при исходном положении поляризатора; 2 – амплитуда сигнала после поворота поляризатора

Через 20 мин после начала эксперимента амплитуда сигнала в максимуме временного отклика превышает значение 30 мВ (рис. 4, *а*, кривая 1). За 2 ч измерений это значение экспоненциально достига-

ет 36...37 мВ. После поворота поляризатора до минимума прошедшего сигнала получили значения напряжения на PD , соответствующие кривой 2. Кривая 1 характеризует одновременное влияние поворота плоскости поляризации и изменение степени эллиптичности, кривая 2 – зависимость состояния эллиптичности лучей от времени.

Из графиков на рис. 4, а следует, что за 20 мин угол $\Delta\varphi$ выходит в насыщение и затем не изменяется. Следовательно, дальнейший рост амплитуды сигнала не связан ни с поворотом поляризации, ни с изменением степени эллиптичности. Измерения показали, что изменение амплитуды светового сигнала происходит вследствие углового смещения луча.

Также был обнаружен нелинейный характер изменения составляющей амплитуды, вследствие деполяризации (рис. 4, б). Сигнал, обусловленный явлением деполяризации, сначала возрастал до некоторого значения, а затем уменьшался до другого ненулевого значения. В результате экспериментов установлено, что подобный эффект наблюдается только на частотах, меньших 60 Гц. При частотах 70...200 Гц наблюдался только экспоненциальный рост напряжения на фотодетекторе.

Кроме того, было обнаружено, что диэлектрик проявляет эффект динамической памяти, при котором после прекращения вращения OD состояние поляризации излучения возвращается в исходное положение в течение 30...40 мин.

Обычно считают, что линейно поляризованный свет в диэлектрике можно представить в виде двух лево- и правоциркулярно поляризованных компонент, которые могут распространяться с различными скоростями. Поляризованные по кругу волны с различным направлением вращения вектора \vec{E} могут отличаться не только скоростями распространения, но и коэффициентами поглощения, в этом случае выходящий свет будет поляризован эллиптически, а явление называется круговым дихроизмом. Появление эллиптичности света, прошедшего вращающийся диск, схоже с явлением кругового дихроизма в оптически активной среде.

Зависимость угла поворота плоскости поляризации от частоты вращения диска. В дальнейших экспериментах проводили измерения интенсивности каждого из лучей отдельно. Вначале на фиксированной частоте вращения OD наблюдался переходной процесс, в течение которого амплитуда сигнала на PD экспоненциально возрастала. Затем после выхода сигнала в насыщение измеряли угол поворота поляризатора, при котором напряжение сигнала было минимальным. После остановки диска минимум амплитуды постепенно возвращался в свое исходное положение. Далее проводили измерения на другой частоте вращения.

Результаты измерений представлены на рис. 5 в диапазоне частот $f = 3 \dots 200$ Гц.

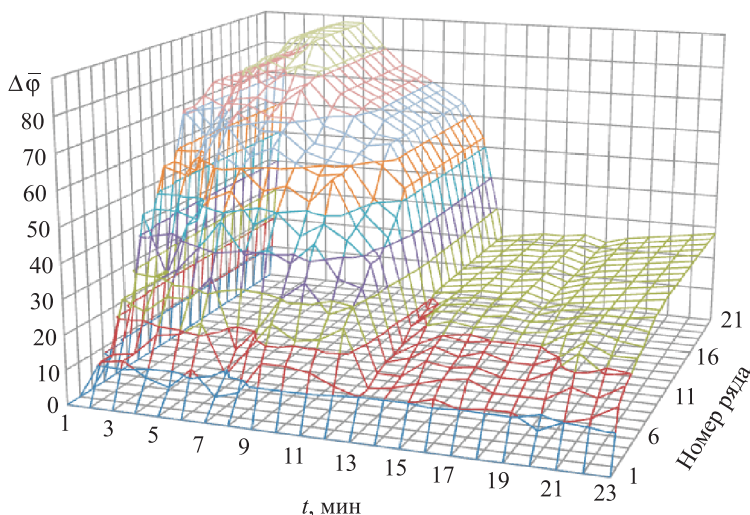


Рис. 5. Зависимость угла поворота плоскости поляризации лучей от времени и от частоты вращения (номер ряда соответствует частоте вращения, равной 3, 5, 10, 20, ..., 200 Гц)

Поворот плоскости поляризации происходит на больший угол при малых частотах.

Зависимости угла поворота плоскости поляризации от частоты для исходной вертикальной поляризации излучения на выходе лазера с учетом переходного процесса во вращающемся OD приведены на рис. 5. При малых частотах вращения OD происходит рост угла поворота плоскости поляризации излучения почти до 90° на частоте порядка 20...30 Гц. На частоте 3 Гц поворот плоскости поляризации уже достигает 70° для вертикальной компоненты поляризации на выходе лазера. Затем при увеличении частоты на 100 Гц угол поворота уменьшается до $\Delta\varphi = 10 \dots 20^\circ$. После этого наблюдается медленное возрастание $\Delta\varphi$ с увеличением частоты вращения OD .

Детальное изучение зависимости $\Delta\varphi_i(f_i)$ и повторные измерения на всем диапазоне частот указывают на то, что при значениях частоты вращения 2...5 Гц (меньшее значение частоты вращения невозможно получить при существующих технических параметрах установки) $\Delta\varphi = 70^\circ$ при самых низких из достижимых на установке частот вращения.

Таким образом, из графиков на рис. 6 следует, что наблюдаются два эффекта, имеющие, по-видимому, разную физическую природу. В области малых частот наблюдаются большие углы поворота поляри-

зации, причем зависимость от частоты вращения существенно нелинейная. В области средних частот (100...200 Гц) зависимость угла поворота поляризации от частоты линейная. Вторым из эффектов можно связать с возможным влиянием упругой деформации, которая на этих частотах становится существенной и может приводить к эффекту, аналогичному явлению фотоупругости.

Влияние упругой радиальной деформации вращающегося диэлектрика. Вращение оптического элемента может сопровождаться его деформацией. Механическая деформация приведет к изменению фазовой скорости и повороту плоскости поляризации монохроматического линейно поляризованного излучения. Оценку этих эффектов в первом приближении можно сделать на основе расчета разности оптического пути двух лучей, прошедших вращающийся элемент.

Разность эквивалентного оптического пути интерферирующих лучей с учетом деформации ОД

$$\Delta L_e = 2u_r + n_2 L_0 - \frac{c}{c'} (L_0 + 2u_r), \quad (2)$$

где u_r – радиальная деформация вращающегося элемента; L_0 – длина траектории луча в неподвижном материале; c' – фазовая скорость света в среде с вращением.

Радиальную деформацию вращающегося ОД можно рассчитать по формуле [12, 13]:

$$\text{grad div } \vec{u}_r - \frac{1-2\sigma}{2(1-\sigma)} \text{rot rot } \vec{u}_r = \rho \omega^2 \frac{(1+\sigma)(1-2\sigma)}{E(1-\sigma)}, \quad (3)$$

где \vec{u}_r – вектор деформации; $\rho \omega^2 r$ – центробежная сила; ρ – плотность материала; r – текущий радиус; σ – коэффициент Пуассона; E – модуль Юнга.

В цилиндрических координатах дифференциальное уравнение для радиальной деформации $u_r = f(r)$ имеет следующий вид:

$$\frac{E(1-\sigma)}{(1+\sigma)(1-2\sigma)} \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d(ru_r)}{dr} \right) = -\rho \omega^2 r. \quad (4)$$

Решение, конечное при $r = 0$ и удовлетворяющее условию отсутствия напряжения при $r = R_0$, можно записать в виде

$$u_r = \frac{\rho \omega^2 (1+\sigma)(1-2\sigma)}{8E(1-\sigma)} r \left[(3-2\sigma) R_0^2 - r^2 \right]. \quad (5)$$

Отметим, что зависимость $u_r(\omega)$ при фиксированном r имеет квадратичный вид. Однако оптические свойства среды определяются объемными характеристиками, поэтому зависимость от частоты вращения должна быть линейной.

Для $r = R_0$ имеем

$$u_r = \frac{\rho\omega^2 R_0^3}{4E} (1 + \sigma)(1 - 2\sigma). \quad (6)$$

Выражение (2) после подстановки соотношения (6) приводится к виду

$$\Delta L_e = L_0 \left(n_2 - \frac{c}{c'} \right) + \frac{\rho\omega^2 R_0^3 (1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}{2E} \left(1 - \frac{c}{c'} \right). \quad (7)$$

Длину траектории луча в неподвижном диске можно вычислить из геометрического соотношения $L_0 = 2R_0 \cos \vartheta_2$.

Для примера используем параметры экспериментов [14, 15]: $\omega = 630$ рад/с, $n_2 = 1,5$, $\lambda = 0,6328$ мкм, $R_0 = 0,06$ м, $\vartheta_0 = 30^\circ$, а также справочные данные [16]: $\sigma = 0,25$, $\rho = 2,27 \cdot 10^{-3}$ кг \cdot м $^{-3}$, $E = 698 \cdot 10^7$ Па \cdot м $^{-2}$. Разности эквивалентного оптического пути интерферирующих лучей с учетом деформации ОД $|\Delta L_e| \cong 2 \cdot 10^{-4}$ мкм.

Таким образом, оценочные расчеты показывают, что радиальная деформация вращающегося оптического элемента вносит вклад в смещение интерференционной картины. Поскольку перераспределение энергии в ортогональных компонентах вектора \vec{E} после прохождения через вращающуюся среду имеет тот же порядок, можно сделать заключение, что влияние радиальной деформации приведет к линейной зависимости плоскости поляризации от частоты вращения диска. Однако обсуждаемый эффект аналогичен фазовому сдвигу и достаточно мал для объяснения макроскопических значений углов поворота плоскости поляризации излучения, наблюдаемых в эксперименте при малых частотах вращения диска.

Оценки влияния угловой дисперсии в материале при измерениях с когерентным источником излучения также показывают, что дисперсия не приведет к заметному сдвигу интерференционной картины. Для значений $\omega = 630$ рад/с, $n = 1,4766$, $\lambda = 0,6328$ мкм, $R_0 = 0,06$ м, $\vartheta_0 = 30^\circ$ при изменении длины волны излучения лазера на $\Delta\lambda = 0,01$ мкм изменение угла преломления $\Delta\vartheta_2$ не превышает 10^{-8} угловых градусов.

Заключение. В результате экспериментальных исследований обнаружен переходный процесс поворота плоскости поляризации, время которого достигает 15...20 мин в диапазоне частот от нуля до 200 Гц. Линейно поляризованный свет после прохождения вращающегося ОД становится эллиптически поляризованным, причем с ростом частоты вращения ОД степень поляризации уменьшается. Поворот плоскости поляризации зависит от частоты вращения. Направление поворота поляризации лучей, прошедших в противоположных направлениях, противоположное и практически не зависит от направления вращения ОД.

Изменение поляризации в диапазоне частот от нуля до 100 Гц значительно отличается от изменения в диапазоне частот 100...200 Гц. На низких частотах вращения ОД при частоте 10...30 Гц наблюдается большой угол поворота поляризации – до $\Delta\varphi = 80...90^\circ$.

С практической точки зрения обнаруженный эффект поворота плоскости поляризации лучей, прошедших вращающийся диэлектрик, позволяет использовать его для управления лазерным излучением. Представляет интерес изучение данного явления в других оптически прозрачных средах, в том числе в новом виде кристаллов – фотонных глобулярных кристаллах [17]. Зависимость данного явления от изменений межатомных связей в движущейся среде позволяет допустить предположение о возможности его использования в современных задачах теоретической и экспериментальной физики [18–20].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Франкфурт У.И. *Оптика движущихся сред и специальная теория относительности. Эйнштейновский сборник*. Москва, Наука, 1980, с. 257–326.
- [2] Fizeau H. Sur une methode propre a rechercher sur Tazimut de polarisation du rayon refracte est influence par le mouvement du corps refringent. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris*, 1859, vol. 49, pp. 717–723.
- [3] Fermi E. *Sul trascinamento del piano di polarizzazione da parte di un mezzo rotante* Rend. Lincei, 1923, vol. 32 (I), pp.115–118. (Ферми Э. *К увлечению плоскости поляризации вращающейся средой*. Научные труды в 2-х т. Москва, Наука, 1971, с. 104–107.)
- [4] Player M. A. On the Dragging of the Plane of Polarization of Light Propagating in a Rotating Medium *Proc. R. Soc. London. A*, 1976, vol. 349, pp. 441–445.
- [5] Jones R.V. Rotary “aether drag”. *Proc. R. Soc. London. A. Math. Phys. Sci.* 1976. vol. 349, pp. 423–439.
- [6] Padgett M., Whyte G., Girkin J., Wright A., Allen L., Öhberg P., Barnett S.M. Polarization and image rotation induced by a rotating dielectric rod: an optical angular momentum interpretation. *Optics letters*. 2006. vol. 31, no. 14, pp. 2205–2207.
- [7] Allen L., Padgett M. Equivalent geometric transformations for spin and orbital angular momentum of light. *Journal of Modern Optics*, vol. 54, no. 4, 10 March 2007, 487–491.

- [8] Franke-Arnold S., Gibson G., Boyd R.W., Padgett M.J. Rotary Photon Drag Enhanced by a Slow-Light Medium. *Science*, 2011, vol. 333, pp. 65–67.
- [9] Гладышев В.О. Искривление траектории распространения плоской монохроматической электромагнитной волны в среде с вращением. *Письма в ЖЭТФ*, 1993, т. 58, вып. 8, с. 593–597.
- [10] Гладышев В.О. Распространение плоской монохроматической электромагнитной волны в среде со сложным движением. *ЖТФ*, 1999, т. 69, вып. 5, с. 97–100.
- [11] Гладышев В.О., Тиунов П.С., Леонтьев А.Д., Гладышева Т.М., Шарандин Е.А. Исследование анизотропии пространства скоростей электромагнитного излучения в движущейся среде. *ЖТФ*, 2012, № 11, с. 54–63.
- [12] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика. Т. 7. Теория упругости*. Москва, Наука, 1987, 246 с.
- [13] Тимошенко С.П., Гудьер Дж. *Теория упругости*. Москва, Наука, 1979, 560 с.
- [14] Гладышев В.О., Гладышева Т.М., Зубарев В.Е. Регистрация эффекта увлечения света в дисковом оптическом интерферометре. *Письма в ЖТФ*, 2002, № 3, с. 88–94.
- [15] Гладышев В.О., Гладышева Т.М., Дашко М., Трофимов Н., Шарандин Е.А. Первые результаты измерения зависимости пространственного увлечения света во вращающейся среде от скорости вращения. *Письма в ЖТФ*, 2007, т. 33, № 21, с. 17–24.
- [16] *Физические величины: Справочник*. И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов, ред. Москва, Энергоатомиздат, 1991, 1232 с.
- [17] Горелик В.С. Оптические и диэлектрические свойства наноструктурированных фотонных кристаллов, заполненных сегнетоэлектриками и металлами. *Физика твердого тела*, 2009, т. 51, вып. 7, с. 1252–1258.
- [18] Челноков М.Б. О спине фундаментальных частиц. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки*, 2010, вып. 3 (38), с. 22–34.
- [19] Пенроуз Р. *Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной*. Москва–Ижевск, ИКИ, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007, 912 с.
- [20] Гладышев В.О., Даффи М.К., Морозов А.Н., Роуландс П., Гладышева Т.М. Прогресс в области развития теории относительности и ее физических интерпретаций. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2005, № 4, 109–123 с.

Статья поступила в редакцию 05.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Гладышев В.О., Портнов Д.И., Кауц В.Л., Гладышева Т.М. Поляризация когерентного оптического излучения в движущейся среде. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 8. URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/physics/1112.html>

Гладышев Владимир Олегович окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1989 г. Д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Физика», декан факультета «Фундаментальные науки», руководитель Научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, сопредседатель Международного оргкомитета конференции «Физические интерпретации теории относительности». Автор 120 научных работ и двух монографий в области электродинамики движущихся сред и теории относительности. e-mail: vgladyshev@mail.ru

Портнов Дмитрий Игоревич – студент 4-го курса МГТУ им. Н.Э. Баумана.
e-mail: quadronoid@gmail.com

Кауц Владимир Леонидович окончил МИФИ в 1987 г. Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, научный сотрудник Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. Автор 30 научных работ в области ядерной физики, астрофизики, космологии. e-mail: kauts@asc.rssi.ru.

Гладышева Татьяна Михайловна окончила МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1990 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, член оргкомитета конференции «Физические интерпретации теории относительности». Автор 50 научных работ в области оптики движущихся сред. e-mail: vgladyshhev@mail.ru.