

УДК 535.012.2; 535-4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ОПТИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ

© 2013 г. В. О. Гладышев, Д. И. Портнов, В. Л. Кауц, Е. А. Шарандин

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005 Москва, Россия

E-mail: vgladyshv@mail.ru

Поступила в редакцию 22.01.2013 г.

Обсуждены результаты экспериментов по наблюдению поворота плоскости поляризации когерентного излучения от лазера с длиной волны $\lambda = 0.632991$ мкм, прошедшего вращающийся оптический диск, выполненный из стекла ТФ3 с показателем преломления $n = 1.71250$. Опыты проводились при угле падения луча на плоскую поверхность диска $\vartheta_0 = 60^\circ$, частота вращения диска изменялась от 0 до 200 Гц для двух направлений вращения оптического диска. Результаты опытов свидетельствуют о том, что вращение оптически прозрачного, однородного и изотропного диэлектрика приводит к повороту плоскости поляризации плоского монохроматического электромагнитного излучения в десятки градусов. На частоте вращения 3 Гц поворот поляризации достигает значения $\Delta\varphi = 70^\circ$ для вертикальной компоненты поляризации на выходе лазера. Зависимости угла поворота плоскости поляризации и степени поляризации лучей от частоты вращения имеют нелинейный вид и объясняются появлением во вращающемся диэлектрике существенных анизотропных свойств.

DOI: 10.7868/S0030403413090092

ВВЕДЕНИЕ

Первые исследования зависимости поляризации света от движения среды были выполнены в теоретических работах Г. Лоренца [1] и экспериментах И. Физо [2]. И хотя представления о том, что вращение плоскости поляризации должно быть подвержено влиянию движения Земли не увенчались успехом, эти исследования привели к развитию оптики движущихся сред.

Попытки регистрации зависимости угла плоскости поляризации света от скорости движения среды привели к выводу о том, что эффект поворота поляризации в движущейся среде мал и его влияние в экспериментах незначительно. Однако, как показывают представленные в работе экспериментальные результаты, это не всегда так.

Прежде всего следует проанализировать существующие представления о процессе распространения плоской монохроматической электромагнитной волны во вращающемся однородном и изотропном оптически прозрачном диэлектрике в геометрическом приближении.

С точки зрения классической электродинамики при нормальном падении луча на тангенциальный разрыв скорости, т.е. на плоскую поверхность вращающегося оптического диска (ОД), луч не подвергается отклонению. Это следует из того, что при тангенциальном разрыве скорости существует тангенциальный инвариант [3]. Другими словами, тангенциальные проекции волно-

вых векторов падающей, прошедшей и отраженной волн равны друг другу и при нормальном падении волны на поверхность диска все они равны нулю.

При падении луча под некоторым углом к плоской поверхности возникает продольное и поперечное увлечение света [4]. Первый из эффектов представляет собой эффект Физо и линейно зависит от оптического пути в среде и скорости ее движения. Вторым возникает вследствие того, что луч распространяется в материале под углом, величина которого зависит от скорости вращения ОД. Происходит смещение точки выхода луча из диска, что также зависит от толщины диска d и числа проходов N луча между плоскими поверхностями ОД. Однако луч должен выйти из плоскопараллельной пластины под тем же углом, под которым он падал на первую поверхность.

Эффект поворота плоскости поляризации плоскополяризованной монохроматической электромагнитной волны, падающей нормально на вращающийся диск, был предсказан Э. Ферми [5].

Механическое вращение оптической среды должно приводить к повороту поляризации прошедшего цилиндра излучения на угол

$$\Delta\varphi = \left(n_g - \frac{1}{n_\phi} \right) \frac{\Omega L}{c}, \quad (1)$$

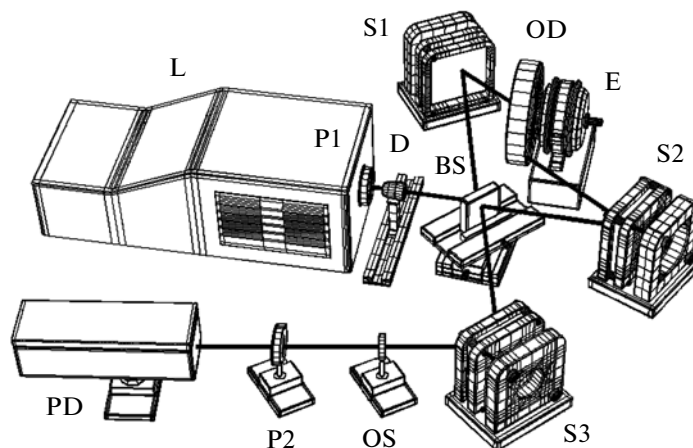


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

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

Однако этот эффект чрезвычайно мал. Для типичных оптических стекол и параметров движения ($\Omega = 1000$ об/мин, $L = 10$ мм) результирующий угол имеет порядок микрорадиана.

Тем не менее в работе [6] была измерена зависимость угла поворота плоскости поляризации света с длиной волны $\lambda = 632.8$ нм, прошедшего цилиндрический стержень длиной 100 мм и 20 мм в диаметре, от частоты вращения стержня. Стержень был изготовлен из тяжелого флинта SF57 с показателем преломления 1.840 для $\lambda = 632.8$ мкм и вращался с угловой скоростью до 6000 об/мин.

Данные эксперимента свидетельствуют о том, что при частоте вращения 100 Гц угол поворота плоскости поляризации находился на уровне $\Delta\phi = 2 \times 10^{-6}$ рад.

Известны эксперименты по прохождению когерентного излучения через цилиндр, вращающийся с частотой 30 Гц. В опыте наблюдалось значительное отклонение лучей, падающих по нормали на плоскую поверхность цилиндра [7]. В настоящей работе использовалась оптически активная среда, в результате чего время распространения излучения в среде возрастает на порядки вследствие множественных процессов переизлучения в инверсной среде. Как следствие, увеличивается снос излучения в направлении перпендикулярном направлению распространения.

Кроме того, в работах [8, 9] был предсказан эффект поворота плоскости поляризации монохроматического излучения при неоднородном движении среды.

Необходимо отметить, что выражение (1) получено исходя из предположения оптически од-

нородной изотропной среды. Обычно предполагается, что вращающийся оптический диск слабо изменяет свои оптические свойства, поэтому и при вращении проявляет изотропные свойства.

Однако, при вращении ОД возникает радиальная и тангенциальная деформация, а компоненты тензора деформации зависят от выбранной модели (цилиндр, тонкий диск, труба и т.п.) [10].

В результате в исходно изотропном оптическом диске возникает анизотропия показателя преломления, величина которой зависит от скорости вращения и неоднородна по объему ОД. Это приводит к тому, что влияние механического вращения оптической среды на поляризацию когерентного излучения может стать заметным.

В настоящей работе представлены результаты измерения зависимости изменения поляризационных характеристик электромагнитного излучения, прошедшего вращающийся ОД, от частоты вращения диска.

Схема оптической установки представлена на рис. 1. Излучение от стабилизированного по мощности лазера L проходило через поляризатор P1, который позволял задавать исходную поляризацию излучения на входе в интерферометр (вертикальную, горизонтальную или одновременно обе составляющие). Далее излучение проходило через диафрагму D, которая выполняла две функции: очистку пучка и защиту от излучения, отраженного интерферометром. Далее излучение разделялось на светоделительной пластине BS на два луча, которые распространялись в кольцевой схеме интерферометра в различных направлениях. При этом они отражались от зеркал S1 и S2 и проходили через оптический диск OD, закрепленный на электродвигателе E. После выхода из кольцевой схемы интерферометра лучи отражались на зеркале S3 и проходили через оптическую систему OS, поляризатор P2 и попадали на фотодетектор.



Рис. 2. Зависимость напряжения на ФД от угла поворота поляризатора для горизонтальной поляризации излучения лазера при неподвижном ОД (1) и при частоте вращения ОД 80 Гц (2).

Установка была смонтирована на оптическом столе с пассивной системой виброизоляции таким образом, что вибрации, создаваемые электромотором, не приводили к влиянию на измеряемый сигнал, которое бы превышало уровень шума, т.е. порядка одного мВ.

При помощи юстировки лучи в плоскости регистрации могли образовывать интерференционную картину или, наоборот, пространственно разведены, чтобы их поляризационные характеристики можно было анализировать по отдельности. Частота и направление вращения двигателя управлялись при помощи цифрового преобразователя частоты Delta Electronics VFD-EL.

В качестве поляризатора P2 для анализа характеристик излучения использовались призма Глана и пленочный поляризатор SUNPAK (PL) Polarizer 48mm. Оптический диск изготовлен из оптического стекла марки ТФ3 с показателем преломления $n = 1.71250$ для $\lambda = 0.6328$ мкм.

Оптический диск имеет следующие параметры: диаметр $D = 62$ мм, толщина $d = 10$ мм, плоские поверхности ОД имеют металлические отражающие покрытия радиуса $R_1 < D/2$ для увеличения оптического пути в движущейся среде. Диаметр внутреннего отверстия в диске для посадки на вал $D_0 = 37$ мм. Ось вращения диска находится в горизонтальной плоскости. Электромагнитная волна падает на плоскую поверхность оптического диска под углом $\vartheta_0 = 60^\circ$ также в горизонтальной плоскости. Плоскость траектории волнового вектора в ОД находится на расстоянии $r = 20.5$ мм выше оптической оси диска. Луч совершает $N = 6$ переотражений на зеркальных поверхностях так, что длина пути луча в среде в проекции на плоскую поверхность диска $l = 41$ мм.

Обработка сигналов осуществлялась аналого-цифровым преобразователем (АЦП) National Instruments PCI-6132, имеющем частоту оцифровки

сигнала 2.5 МГц при входном разрешении 14 разрядов на канал. На входы АЦП поступали сигналы от измерительного фотодетектора, цифровая последовательность сигналов поступала в персональный компьютер и проходила дальнейшую обработку в среде LabVIEW.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА ПОЛЯРИЗАЦИИ И ЭЛЛИПТИЧНОСТИ КАЖДОГО ИЗ ДВУХ ЛУЧЕЙ В ОТДЕЛЬНОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ОД

На первом этапе в опыте измерялось изменение поляризации двух лучей, прошедших вращающийся ОД в противоположных направлениях.

В опытах использовался He–Ne-лазерный генератор, стабилизированный, одночастотный, непрерывного режима работы ЛГН 302 с мощностью 0.7 мВт в каждой компоненте генерации. В зависимости от положения светофильтра выходной турели выбиралась спектральная компонента излучения: горизонтальная или вертикальная линейная ортогонально поляризованная компонента с одночастотным режимом в каждой поляризации.

После того, как лазер вышел на установившийся режим, юстировочными винтами лучи интерференционной картины были разведены по вертикали в разные стороны. Это позволяло проводить опыт с каждым из двух пятен, составляющих интерференционную картину, по отдельности.

При неподвижном положении ОД перед запуском электродвигателя были получены зависимости напряжения на фотодетекторе (ФД) от угла поворота призмы Глана для разных спектральных составляющих излучения (для вертикальной и горизонтальной компонент). На рис. 2 (график 1) представлена зависимость для исходной горизонтальной составляющей поляризации на выходе лазера (для вертикальной составляющей график аналогичен, но смещен на 90° и имеет другую амплитуду). Соответственно там, где на графике изображен минимум интенсивности прошедшего через поляризатор света, поляризатор был расположен перпендикулярно направлению поляризации на выходе ОД. Для двух лучей, прошедших ОД в противоположных направлениях, это угловое положение отличалось приблизительно на 20° . Отличие абсолютного углового положения поляризаций лучей, прошедших ОД в противоположных направлениях, объяснялось тем, что лучи распространялись по разным траекториям и взаимодействовали со светоделителем (СД) при разных условиях (один из лучей дважды проходил СД, другой дважды отражался от СД).

После запуска электромотора интенсивность света пятен изменялась, причем, поворачивая

призму Глана, удавалось измерять поворот поляризации.

В качестве примера на рис. 2 (график 2) приведена зависимость напряжения на ФД от угла поворота поляризатора при частоте вращения ОД 80 Гц (после переходного процесса, который длился около 15 мин). Из этого графика следует, что при установленном угле поляризатора $\varphi = 100^\circ$ сигнал вырос и составил порядка 60 мВ. Также из этого графика следует, что для нахождения минимума сигнала на ФД необходимо повернуть поляризатор на $\Delta\varphi = 60^\circ$, т.е. до 160° . Напряжение на ФД в этой точке не нулевое и составляет величину 5 мВ, что свидетельствует о появлении эллиптичности в пучке, прошедшем вращающийся ОД.

В дальнейшем для удобства за ноль было принято исходное положение поляризатора, соответствующее минимуму прошедшего света. Вращению плоскости поляризации по часовой стрелке соответствовал отрицательный угол на графике, против часовой – положительный. Направление поворота призмы (по часовой или против) выбрано для наблюдателя, который видит призму по ходу лучей (т.е. со стороны ОД).

Опытным путем было установлено, что поворот плоскости поляризации лучей зависит от частоты вращения ОД, причем направление поворота поляризации лучей, прошедших ОД в противоположных направлениях, противоположное.

Как показали измерения, в области от 0 до 100 Гц характер изменения поляризации значительно отличается от зависимости на частотах 100–200 Гц. В последующих измерениях было показано, что на низких частотах вращения ОД наблюдается большой угол поворота поляризации почти до $\Delta\varphi = 90^\circ$.

Также было обнаружено, что после выхода ОД на рабочую частоту вращения наблюдается достаточно длительный переходный процесс поворота плоскости поляризации. Время переходного процесса зависит от частоты ОД, поэтому для получения достоверных зависимостей потребовалось проведение длительных измерений при фиксированной частоте ОД после того, как поворот плоскости поляризации выйдет на установившееся значение. В зависимости от частоты вращения это занимало время от 5 до 15 мин.

Кроме того, измерения при разных направлениях вращения ОД не привели к заметному изменению в значениях угла поворота плоскости поляризации при заданной частоте вращения. Из этого можно сделать заключение, что если бы поворот плоскости поляризации возникал вследствие эффекта Ферми, то направление поворота поляризации для выбранной исходной поляризации при изменении направления механического вращения ОД изменяло бы свое направление. Од-

нако этого не происходит, следовательно, поворот плоскости поляризации не связан с направлением вращения, а только с самим вращением ОД.

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА НА ФД ОТ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ОД

В результате опыта были измерены амплитуды сигналов на ФД при исходной ориентации поляризации и после ее поворота при различных частотах вращения ОД, а также угол поворота плоскости поляризации $\Delta\varphi$. В качестве поляризатора использовалась призма Глана. В начале опыта был найден угол поворота поляризатора, при котором проходящий через него сигнал оказывался минимальным и находился на уровне шума. В дальнейшем при этом положении поляризатора измеряли первое значение амплитуды сигнала на всех частотах вращения ОД. В качестве измерительного фотодетектора был выбран высокоскоростной PIN-фотодиод S5821-01 (Hamamatsu), сигнал которого подавался на предусилитель с полосовым RLC-фильтром.

После начала вращения диска ввиду поворота поляризации сигнал с фотодетектора возрастал и эту величину фиксировали. Для того, чтобы определить угол поворота плоскости поляризации, призму Глана поворачивали таким образом, чтобы интенсивность проходящего через поляризатор света становилась минимальной. Эту величину также записывали. Затем проводились сравнения измеренных пар амплитуд сигнала в исходном положении поляризатора и после его поворота до минимума сигнала. Измерения проводились в интервале частот 100–220 Гц с шагом 10 Гц, всего 13 измерений парных значений амплитуды сигнала. Результаты измерений представлены на рис. 3 для исходной вертикальной поляризации на выходе лазера.

Перерыв между последовательными измерениями составлял порядка 1–2 мин, что необходимо для выхода диска в установившийся режим вращения на новой частоте. Поэтому данные результаты не содержат информацию о достаточно длительном переходном процессе изменения поляризации при постоянной частоте вращения ОД.

В целом представленные результаты свидетельствуют о том, что происходит поворот плоскости поляризации излучения, прошедшего вращающийся ОД, причем угол поворота поляризации растет с ростом частоты вращения ОД.

Также из представленных данных следует, что после выхода ОД на установившийся режим поворотом поляризатора не удается погасить сигнал на ФД до предельно малых значений, т.е. до уровня шума. При исходной горизонтальной поляризации лазерного излучения амплитуда сигнала на ФД на частоте вращения 220 Гц уменьшается от

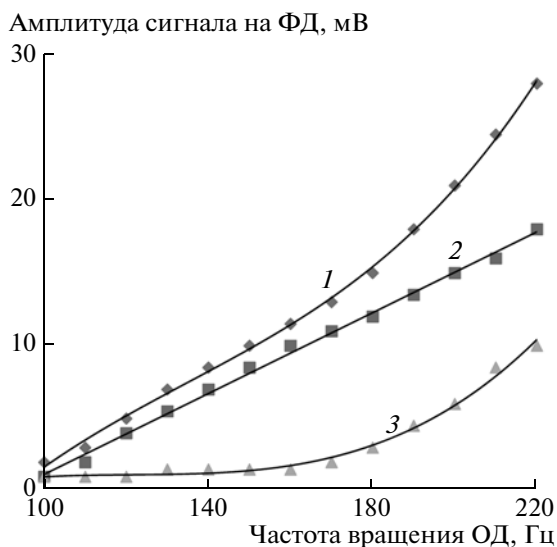


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала на ФД от частоты вращения ОД при начальном положении поляризатора (1), после поворота поляризатора до минимума сигнала (2), их разность (3).

28 мВ приблизительно в 1.5 раза и составляет величину около 18 мВ. При исходной вертикальной поляризации лазерного излучения амплитуда сигнала на ФД на частоте вращения 220 Гц уменьшается от 50 мВ приблизительно в 2 раза и составляет величину около 25 мВ.

Это означает, что исходно линейно поляризованный свет после прохождения вращающегося ОД становится эллиптически поляризованным. Другими словами при увеличении частоты вращения ОД степень поляризации уменьшается, т.е. растет деполяризация излучения.

Измерения, результаты которых приведены на рис. 3, проводились неоднократно и в разные дни. Зависимость амплитуды сигнала на ФД от частоты вращения ОД воспроизводится достаточно хорошо.

Представленные результаты не учитывали сравнительно длительный переходный процесс поворота плоскости поляризации, который возникает после раскрутки ОД на заданную частоту. Эти особенности были изучены в дальнейших исследованиях.

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПОВОРОТА ПОЛЯРИЗАЦИИ И ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ЛУЧА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ВРАЩАЮЩИЙСЯ ДИСК, ОТ ВРЕМЕНИ

Во время проведения экспериментов был обнаружен дрейф амплитуды сигнала на ФД и угла поворота поляризации во времени при фиксированной частоте вращения ОД. В связи с этим возникла гипотеза, что после раскрутки ОД возника-

ет переходной процесс, в течение которого плоскость поляризации медленно поворачивается во времени.

Для проверки этой гипотезы был проведен опыт по наблюдению угла поворота плоскости поляризации луча и степени эллиптичности во времени. Опыт проводился при частоте 150 Гц. В опыте в качестве поляризатора использовалась призма Глана.

В ходе опыта в плоскости ФД была получена интерференционная картина двух лучей при вертикальной поляризации излучения лазера. Заметим, что предыдущие измерения показали, что плоскости поляризации двух лучей, прошедших ОД в противоположных направлениях, даже в отсутствие вращения ОД повернуты друг относительно друга на угол порядка 20° . Это должно приводить к появлению эллиптичности суммарного интерференционного пучка.

Интерференционная картина представляет собой последовательность полос на экране, в плоскости которого был установлен ФД. При вращении ОД полосы совершают циклическое движение так, что интенсивность света в апертуре ФД изменяется во времени. Это приводит к появлению временной зависимости напряжения на ФД.

В эксперименте измерялась амплитуда временного сигнала в максимуме. Перед началом эксперимента лучи юстировались так, чтобы максимум интенсивности сигнала (яркая часть пятна) попадал в апертуру ФД.

После запуска лазера и выхода его на установившийся режим поляризатор был повернут так, чтобы проходящий через него сигнал был минимален. После запуска вращения диска была измерена амплитуда сигнала в максимуме временной зависимости напряжения на ФД при исходном угловом положении блока с призмой, 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. Подобные действия повторялись в течение 28 измерений. Перерыв между измерениями составлял 5 мин.

Результаты измерений зависимости амплитуды напряжения на ФД в максимуме от времени представлены на рис. 4.

Из рис. 4 (график 1) следует, что если амплитуда сигнала в первые минуты после раскрутки ОД составляет величину порядка 10 мВ, то через 20 мин после начала опыта амплитуда сигнала в максимуме временного отклика превышает значение 30 мВ. За два часа измерений это значение экспоненциально достигает величины 36–37 мВ.

После поворота поляризатора до минимума прошедшего сигнала значения напряжения на ФД фиксировались каждые 5 мин и образовали

зависимость (график 2). В целом он повторяет график 1, только значения напряжения приблизительно в 1.5 раза меньше.

Первый график характеризует одновременное влияние поворота поляризации и изменение степени эллиптичности. Второй график характеризует зависимость состояния эллиптичности лучей во времени. Следовательно, разность графиков 1 и 2 представляет величину, характеризующую степень эллиптичности лучей. Эта величина изображена на рис. 4 графиком.

Из сравнения этих графиков следует, что степень эллиптичности выходит в насыщение в первые 20 мин и затем практически не изменяется. Можно было бы предположить, что нелинейная зависимость интерференционного сигнала (график 1) обусловлена медленным поворотом плоскости поляризации во времени.

Также была измерена зависимость угла поворота плоскости поляризации интерферирующих лучей от времени при частоте вращения ОД 150 Гц. Анализ данных свидетельствует о том, что за 20 мин с начала измерений угол поворота поляризации достигает величины 21° и в дальнейшем не изменяется. Следовательно, дальнейший рост амплитуды сигнала не связан ни с поворотом поляризации, ни с изменением степени эллиптичности.

Таким образом, переходной процесс имеет две фазы. В первую фазу одновременно изменяются плоскость поляризации и степень эллиптичности. Этот период сравнительно непродолжительный и занимает около 20 мин. Во второй фазе происходит медленное изменение амплитуды сигнала при фиксированных значениях направления плоскости поляризации и степени эллиптичности. Изменение амплитуды сигнала при длительном наблюдении происходит вследствие углового смещения луча, но важно то, что изменение амплитуды не связано с изменениями поляризационных характеристик излучения, изучение которых является целью исследования.

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УГЛА ПОВОРОТА ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ОД

После того как лазер был включен и выведен на стационарный режим, в плоскости ФД было получено распределение интенсивности одного из лучей при вертикальной поляризации на выходе лазера, затем проводились аналогичные измерения при исходной горизонтальной поляризации.

Призма поворачивалась так, чтобы сигнал, проходящий через неё на экран, был минимален при неподвижном ОД. Это положение поляризатора было исходным для всех частот вращения ОД. Далее после начала вращения диска амплитуда сигнала увеличивалась. Направление враще-

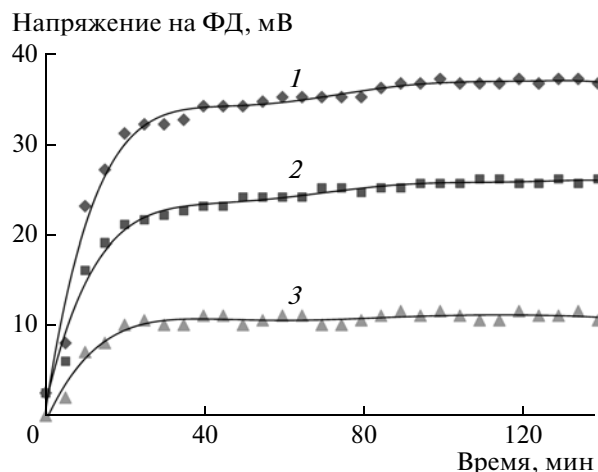


Рис. 4. Зависимость амплитуды напряжения на ФД в максимуме от времени при частоте вращения 150 Гц при исходном положении поляризатора (1), после поворота поляризатора (2) и их разность (3).

ния диска — против часовой стрелки со стороны наблюдателя по ходу движения лучей к экрану.

Первый опыт проводился при вертикальной начальной поляризации луча. При проведении измерений на фиксированной частоте вращения ОД наблюдался переходной процесс, в течение которого амплитуда сигнала на ФД экспоненциально возрастала. После выхода амплитуды напряжения временного сигнала в насыщение производился поворот поляризатора так, чтобы напряжение сигнала было минимальным. Угол поворота поляризации $\Delta\varphi$ определялся путем поворота призмы во вращающемся блоке на угол, который можно было зафиксировать по шкале поворотного блока. После этого диск останавливался и минимум амплитуды постепенно возвращался в свое исходное положение. После этого начинался опыт на другой частоте.

В результате измерений были получены зависимости угла поворота плоскости поляризации лучей от времени для вертикальной и горизонтальной исходных поляризаций лучей на выходе лазера для фиксированных частот вращения ОД в диапазоне 0–200 Гц. Стоит отметить, что поворот поляризации происходит на больший угол при малых частотах. С увеличением частоты переходной процесс происходит быстрее.

На основе полученных данных были построены графики зависимости угла поворота поляризации от частоты для исходных вертикальной и горизонтальной поляризаций излучения на выходе лазера с учетом переходного процесса во вращающемся ОД (рис. 5).

Из графиков следует, что при малых частотах вращения ОД происходит резкое возрастание угла поворота плоскости поляризации излучения.

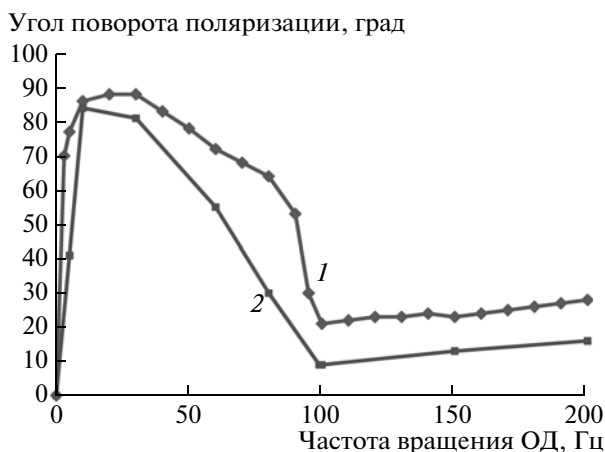


Рис. 5. Зависимость угла поворота поляризации от частоты вращения диска при вертикальной (1) и горизонтальной (2) поляризациях излучения на выходе лазера.

На частоте вращения 3 Гц поворот поляризации уже достигает значения 70° для вертикальной компоненты поляризации на выходе лазера. На частоте порядка 20–30 Гц величина $\Delta\varphi$ выходит в максимум и достигает величины около 90° . Затем при росте частоты угол поворота уменьшается до 10° – 20° на 100 Гц и начинается медленное, почти линейное возрастание угла поворота поляризации с ростом частоты вращения ОД. На частоте 200 Гц поворот достигает величин порядка 15° – 28° для обеих компонент поляризации.

При горизонтальной поляризации значения лежат несколько ниже графика для вертикальной поляризации, но вид зависимости остался тем же. Измерения проводились с использованием в качестве поляризатора призмы Глана и проверялись с пленочным поляризатором. Направление вращения диска не оказывало заметного влияния на результаты. Также были проведены измерения на другом оптическом диске с такими же геометрическими параметрами и маркой стекла. Графики зависимостей углов поворота поляризации от частоты вращения качественно имеют аналогичный вид.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований обнаружено, что поляризация когерентного электромагнитного излучения с длиной волны $\lambda = 0.632991$ мкм, прошедшего через вращающийся оптический диск, выполненный из стекла ТФЗ, зависит от угловой скорости вращения диска.

При угле падения луча на плоскую поверхность диска $\vartheta_0 = 60^\circ$ после выхода ОД на рабочую частоту вращения наблюдается достаточно длительный переходный процесс поворота плоскости

поляризации. Время переходного процесса зависит от частоты вращения ОД и для разных частот в диапазоне от 0 до 200 Гц это время достигало значений 15–20 мин.

В опытах также зарегистрировано изменение амплитуды сигнала в плоскости регистрации интерференционной картины на ФД. В первые минуты после раскрутки ОД напряжение на ФД составляет величину порядка 10 мВ, а через 20 мин после начала опыта амплитуда сигнала в максимуме временного отклика превышала значение 30 мВ.

Исходно линейно поляризованный свет после прохождения вращающегося ОД становится эллиптически поляризованным, причем с ростом частоты вращения ОД степень поляризации уменьшается.

Опытным путем было установлено, что поворот плоскости поляризации лучей, прошедших вращающийся ОД, зависит от частоты вращения ОД, причем направление поворота поляризации лучей, прошедших ОД в противоположных направлениях, противоположное, но оно не зависит от направления вращения оптического диска.

Как показали измерения, характер изменения поляризации в области от 0 до 100 Гц значительно отличается от изменения на частотах 100–200 Гц. На низких частотах вращения ОД наблюдается большой угол поворота поляризации до 80° – 90° в области 10–30 Гц. На частоте вращения 3 Гц поворот поляризации достигает значения 70° для вертикальной компоненты поляризации на выходе лазера. При дальнейшем росте частоты угол поворота уменьшается до 10° – 20° на 100 Гц и затем начинается медленное увеличение угла поворота плоскости поляризации. На частоте 200 Гц поворот $\Delta\varphi$ достигает величин порядка 15° – 28° для обеих спектральных компонент поляризации на выходе лазера. Интересной особенностью является факт уменьшения угла поворота плоскости поляризации при частоте больше 30 Гц.

Сравним полученные результаты с данными, опубликованными в работе [6]. В этой работе была зарегистрирована линейная зависимость угла поворота плоскости поляризации от частоты вращения диска, причем на частоте вращения 10 Гц угол поворота поляризации имел значение $\Delta\varphi = 5 \times 10^{-7}$ рад. В настоящей работе измерена нелинейная зависимость $\Delta\varphi(\Omega)$, а значение угла поворота плоскости поляризации при $\Omega = 10$ Гц равнялось 86° для вертикальной и 84° для горизонтальной составляющих поляризации излучения на выходе лазера. Следовательно, обнаруженный эффект отличается от эффекта Ферми.

Из описания работы [6] следует, что длина волны излучения лазера, показатель преломления стекла, угловая скорость вращения совпадают или достаточно близки параметрам, использо-

ванным в настоящей работе. Однако в нашем эксперименте вместо цилиндра использовался оптический диск большего диаметра с зеркальными отражающими поверхностями, а угол падения был равен $\vartheta_0 = 60^\circ$.

При этих изменениях в условиях проведения эксперимента в неподвижном состоянии, а также при медленном повороте оптический диск оставался изотропным. Начиная с малых угловых скоростей вращения, в нем появляется анизотропия диэлектрических свойств, которая сложным образом зависит от частоты вращения ОД.

Можно предположить, что обнаруженные нелинейные характеристики процесса распространения оптического излучения во вращающемся стекле вызваны особенностями динамической трансформации состояний поляризованности молекул диэлектрика при вращении диска, что приводит к динамическому эффекту вращения плоскости поляризации монохроматического электромагнитного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lorentz H.A.* Coll. Papers. V. 4. Hague, 1935. P. 232.
2. *Fizeau H.* // Comptes Rendus. 1859. V. 49. P. 717–723.
3. *Болотовский Б.М., Столяров С.Н.* // УФН. 1989. Т. 159. В. 1. С. 155–180.
4. *Гладышев В.О., Тиунов П.С., Леонтьев А.Д., Гладышева Т.М., Шарандин Е.А.* // ЖТФ. 2012. № 11. С. 54–63.
5. *Fermi E.* // Rend. Lincei. 1923. V. 32(I). P. 115–118.
6. *Jones R.V.* // Proc. Roy. Soc. London. A. Math. Phys. Sci. 1976. V. 349. P. 423–439.
7. *Franke-Arnold S., Gibson G., Boyd R.W., Padgett M.J.* // Science. 2011. V. 333. P. 65–67.
8. *Розанов Н.Н., Социлин Г.Б.* // Опт. и спектр. 2005. Т. 98. № 3. С. 486–491.
9. *Розанов Н.Н., Социлин Г.Б.* // УФН. 2006. Т. 176. № 4. С. 421–439.
10. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. 7. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 246 с.