

НАБЛЮДЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА ФОКАЛЬНОЙ ПЕРЕТЯЖКИ ПРИ СМЕНЕ ЗНАКА ЦИРКУЛЯРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Б.Я.Зельдович, Н.Д.Кундикова, Л.Ф.Рогачева

*Лаборатория нелинейной оптики, Технический университет
454080 Челябинск, Россия*

Поступила в редакцию 17 марта 1994 г.

Указанный эффект поперечного сдвига $\Delta x \sim \pm \sigma$ обнаружен экспериментально при освещении половины линзы ($y > 0$) плоской циркулярно поляризованной волной $(\hat{e}_x + i\sigma\hat{e}_y)\exp(ikz)$. Наблюдение производилось в рассеянном свете z -поляризации.

При распространении света в оптически неоднородной локально изотропной среде наблюдается влияние поляризации на траекторию и траектории на поляризацию [1]–[4]. До последнего времени считалось, что в однородной изотропной среде поляризация и процесс распространения взаимно независимы. Однако недавно [5] было показано, что если иметь дело с суперпозицией большого числа плоских волн (например, в случае сходящегося пучка), то за счет интерференции трехмерного вектора электромагнитного поля возможно возникновение новых эффектов. Будем освещать верхнюю половину ($y > 0$) линзы, изготовленной из изотропного материала, плоской циркулярно поляризованной волной $E = E_0(\hat{e}_x + i\sigma\hat{e}_y)\exp(ikz)$. Здесь $\sigma = +1$ для света с правой циркулярной поляризацией, и $\sigma = -1$ – для света с левой. В [5] было показано, что переключение знака σ приводит к поперечному сдвигу "центра тяжести" фокального пятна на величину Δx :

$$\Delta x \sim \frac{\sigma\lambda\theta}{2\pi}. \quad (1)$$

Здесь λ – длина волны света, θ – угол схождения лучей в перетяжку. В работе [5] особо отмечалось, что этот сдвиг принципиально невозможно обнаружить, рассматривая перетяжку через микроскоп, установленный навстречу пучку, и предлагалось использовать дихроичный люминофор для наблюдения перетяжки при вторичном свечении.

В настоящей работе мы сообщаем о наблюдении этого эффекта в рассеивающих средах. В качестве таковых использовались: 1) синтетические опалы, изготовленные на Челябинской фабрике художественных изделий А.В.Симоновым (симопалы) и 2) раствор хозяйственного мыла.

Схема установки представлена на рис.1. В соответствии с [5], если освещена левая половина линзы, $y > 0$ (наблюдение ведется по ходу распространения пучка), то при переключении циркулярной поляризации с левой на правую перетяжка должна перемещаться вниз, то есть в направлении $x > 0$.

Устройство для переключения знака σ было сконструировано на основе перестраиваемой пластинки $\lambda/4$ [6]. Оно обеспечивало качество циркулярной поляризации $0,99 \pm 0,01$. Для формирования сходящегося пучка использовался короткофокусный объектив ОМ-3 от микроскопа МБИ-15. Радиус фокальной

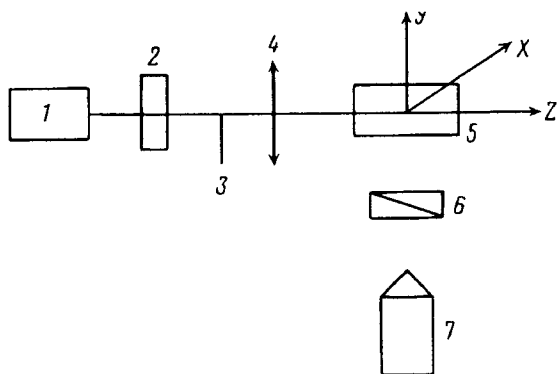


Рис.1. Оптическая схема экспериментальной установки: 1 - He-Ne лазер, $\lambda = 0,63$ мкм, 2 - устройство переключения знака циркулярной поляризации, 3 - заслонка, 4 - короткофокусный объектив, 5 - рассеивающий объект: симопал или кювета с раствором мыла, 6 - поляризатор, 7 - оптическая система увеличения и наблюдения

перетяжки $a_0(HWe^{-1}M)$ (полуширина перетяжки гауссовского пучка по критерию e^{-1} от интенсивности в максимуме) определялся по углу расходимости света после объектива $\theta_0(HWe^{-1}M)$ и на длине волны $\lambda = 0,63$ мкм составлял $a_0 = \lambda/2\pi\theta_0 \approx 1,5$ мкм.

Поляризатор устанавливался таким образом, чтобы можно было наблюдать рассеяние света, вызванное только "запрещенными" z -компонентами светового поля. В этом случае величина поперечного сдвига наибольшая [5]:

$$\Delta x(|E_z|^2) \approx \sigma a_0. \quad (2)$$

Оптическая система давала увеличенное изображение фокальной перетяжки и позволяла измерить ее ширину, а также величину поперечного сдвига ее центра тяжести. Система формировала увеличенное изображение в два этапа: сначала получали промежуточное изображение с десятикратным увеличением, а затем наблюдали его в микроскоп МБС-10. Именно такая оптическая схема позволяла не только проводить наблюдения с семидесятикратным увеличением, но и устанавливать поляризатор в схему.

По визуальной оценке использование поляризатора приводило к дискриминации интенсивности более чем в сто раз, что примерно соответствует величине углового фактора $\theta_0^2 \approx 5 \cdot 10^{-3}$. Это свидетельствует также о скалярном характере рассеяния не только в растворе мыла, но и, к нашему удивлению, в симопале, который по существу является синтетическим монокристаллом кварца с опалесценцией.

В симопале наблюдаемая фокальная перетяжка состояла из неподвижных спекл-пятен; в растворе мыла спекл-картина дрожала. Визуальный характер наблюдения перетяжки означал, что, по-видимому, ее диаметр d_{obs} определялся нами по критерию e^{-2} . Если наблюдаемое распределение интенсивности является гауссовским, то величина $a_0(HWe^{-1}M)$ может быть получена как $a_0 = d_{obs}/2\sqrt{2}$. Величина d_{obs} примерно равнялась 5 мкм при измерении как с использованием симопала, так и раствора хозяйственного мыла, так что оценка для $a_0 \approx 1,75$ мкм, полученная из визуальных наблюдений, примерно совпадает с величиной, подсчитанной по угловому спектру в дальней зоне.

Размер спекл-пятен был примерно $0,1d_{obs}$ при наблюдении в симопале. При рассеянии в мыльном растворе размер спекл-пятна был гораздо меньше и регистрировался на пределе разрешения используемой оптической системы.

Поперечный сдвиг фокальной перетяжки при переключении знака циркулярной поляризации наблюдался при рассеянии света в различных областях двух

образцов симопала. Определялся знак эффекта и измерялась величина сдвига при освещении как правой, так и левой половины объектива. Многократные наблюдения позволили убедиться в верности знака эффекта (совпадении с предсказанием теории из [5]) и оценить величину сдвига примерно как $0,3d_{obs}$, то есть $\Delta x_{obs}(|E_z|^2) \approx 1,5$ мкм. Тем самым можно считать, что и количественно получено соответствие с результатами теории [5]. При наблюдении фокальной перетяжки в растворе мыла яркие вспышки света, рассеянного на движущихся микрочастицах, затрудняли проведение измерений, однако можно с уверенностью сказать, что знак эффекта совпадал с предсказанным, а величина смещения была меньше величины d_{obs} .

Для того чтобы удостовериться в отсутствии паразитных эффектов при переключении знака циркулярной поляризации, в контрольных опытах перед объективом устанавливался поляризатор, так что при переключении знака σ через объектив всё же проходил линейно поляризованный свет. В этом случае никакого изменения в распределении интенсивности в фокальной перетяжке не наблюдалось. При освещении объектива целиком (то есть его обеих половин) в процессе смены знака циркулярной поляризации происходило изменение распределения интенсивности в области фокальной перетяжки, но можно с уверенностью сказать, что "центр тяжести" перетяжки после переключения знака σ не смещался, что согласуется с теорией.

Таким образом, можно утверждать, что мы наблюдали поперечное смещение фокальной перетяжки при смене знака циркулярной поляризации. Знак эффекта соответствует предсказанному, количественные оценки наблюдаемой величины эффекта согласуются с теорией [5].

Нам самим кажется очень непривычным, что изменение циркулярной поляризации света может даже в вакууме приводить к смещению пучка. Подчеркнем, однако, что, согласно [5], эффект полностью укладывается в рамки стандартной классической электродинамики. Более того, основное свойство световых волн, которое при этом использовалось, — их поперечность. Поэтому такого рода эффекты должны иметь место для поперечных волн любой природы, например акустических.



Рис.2. Изображение фокальной перетяжки при освещении правой половины линзы ($y < 0$) циркулярно поляризованным светом: а - $\sigma = -1$; б - $\sigma = +1$

Эффект смещения хорошо регистрируется визуально, фотографическая регистрация затруднена ввиду малости смещения. Тем не менее удалось получить

фотографии, однозначно подтверждающие смещение фокальной перетяжки (см. рис.2).

Авторы благодарят Н.Б.Баранову и А.Ю.Савченко за полезные обсуждения, А.В.Симонова за предоставленные образцы симопала и В.Ф.Кривошекову за полезные обсуждения при выборе рассеивающей среды. Работа была выполнена при частичной поддержке фонда Сороса и Российского фонда фундаментальных исследований (грант N 93-02-15546).

-
1. С.М.Рытов, ДАН СССР **18**, 2 (1938).
 2. M.Berry, Proc. Roy. Soc. London A **392**, 45 (1984).
 3. A.V.Dooghin, N.D.Kundikova, V.S.Liberman, and B.Ya.Zel'dovich, Phys. Rev. A **45**, 8204 (1992).
 4. V.S.Liberman and B.Ya.Zel'dovich, Phys. Rev. A **46**, 5199 (1992).
 5. N.B.Baranova, A.Yu.Savchenko, and B.Ya.Zel'dovich, Письма в ЖЭТФ **59**, 216 (1994).
 6. I.V.Goltser, M.Ya.Darsht, N.D.Kundikova, and B.Ya.Zel'dovich, Optics Commun. **97**, 291 (1993).