

ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛЯРНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОСКНЕ

А.В.Дугин, Б.Я.Зельдович, Н.Д.Кундикова, В.С.Либерман

*Челябинский государственный технический университет
454080, Челябинск*

Поступила в редакцию 9 января 1991 г.

Экспериментально обнаружен предсказанный ранее эффект поворота спектральной картины в многомодовом оптическом волокне при смене знака циркулярной поляризации распространяющегося света. Упомянутый эффект является в некотором смысле обратным известному "рытовскому" повороту плоскости поляризации.

В работе¹ рассмотрено влияние циркулярности поляризации на скручивание исходно плоской траектории геометро-оптического луча. Указанный эффект является родственным хорошо известному "рытовскому" повороту плоскости поляризации для траектории с ненулевым кручением²⁻⁴.

В случае световода с параболическим профилем показателя преломления в¹ получено выражение для угла скручивания траектории:

$$\delta\phi = (\lambda \delta n z) / (\pi r^2 n_{co}^2), \quad (1)$$

где λ - длина волны, r - радиус светонесущей жилы волокна, $\delta n = n_{co} - n_{cl}$, n_{co} - показатель преломления на оси волокна, n_{cl} - показатель преломления оболочки. Оценки для многомодовых световодов дают легко измеряемые величины. В обычном световоде понятие луча применимо лишь на длинах $l < 0,1$ см, однако рассматриваемый эффект должен проявляться в повороте на соответствующий угол спектральной картины.

В настоящей статье сообщается об экспериментальной проверке предсказанного в¹ влияния циркулярности поляризации на скручивание изначально плоской траектории луча.

Из допущений, при которых было получено выражение (1), следует, что эффект возможен только в волокне со слабой деполяризацией, т.е. линейная поляризация света после прохождения волокна должна сохраняться. К сожалению, нам не удалось найти многомодовое градиентное волокно, которое держало бы линейную поляризацию на разумной длине. Исследования были проведены на многомодовом волокне со ступенчатым профилем показателя преломления. Радиус светонесущей жилы волокна $r = 100$ мкм, разница в показателе преломления между кварцевой сердцевиной и прозрачной полимерной оболочкой $\Delta n \sim 6 \cdot 10^{-3}$.

На рисунке представлена схема экспериментальной установки. Линейно-поляризованное излучение Не-Не-лазера 1 ($\lambda = 0,63$ мкм) пропускалось через ромб Френеля 2 для получения циркулярно поляризованного света.

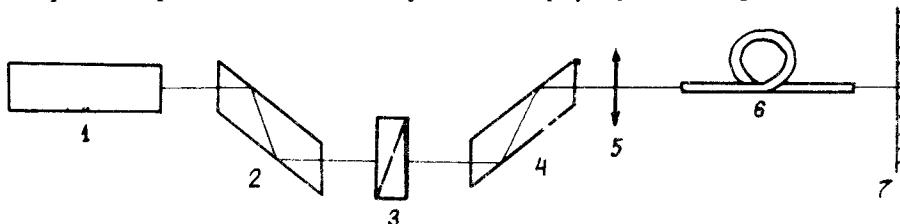


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - Не-Не-лазер, 2, 4 - ромбы Френеля, 3 - поляризатор, 5 - объектив, 6 - оптическое волокно 7 - экран

Поляризатор 3 позволял получать линейную поляризацию любой ориентации. Далее свет проходил через второй ромб Френеля 4. При соответствующей линейной поляризации, задаваемой поляризатором 3, через объектив 5 на вход волокна 6 попадал свет либо с правой, либо с левой круговой поляризацией. Напомним, что следя ⁵, правополяризованной мы называем волну $E = (e_x + ie_y) \exp(-i\omega t + ikz)$, где (e_x, e_y, e_z) - стандартная правая тройка векторов. Знак циркулярной поляризации легко менялся поворотом поляризатора 3 на 90 градусов. Спекл-картина выходящего из волокна излучения наблюдалась на экране 7 с сеткой в полярных координатах.

В исследуемом волокне на длинах 30 - 40 см линейная поляризация сохранялась, но при смене направления круговой поляризации каких-либо изменений в спекл-картине заметить не удавалось. При длинах же волокна более 2 м излучение на выходе было в высшей степени деполяризованным, изменения в спекл-картине носили нерегулярный характер. В волокне длиной примерно 1 м линейная поляризация преимущественно сохранялась, что давало надежду обнаружить предсказанный эффект. И действительно, при смене направления циркуляции поляризации в наблюдаемой спекл-картине происходило "перетекание" картины в направлении по часовой или против часовой стрелки. Знак эффекта при этом совпадает с предсказанным: при смене циркуляции с левой на правую спекл-картина "перетекала" по часовой стрелке. При "перетекании" происходили изменения в деталях, но основные особенности, перемещаясь по кругу, сохраняли форму.

Для определения угла поворота на экране были сфотографированы спекл-картины лево- и правополяризованного излучения. На фотографию изображения в левополяризованном свете проектировалось негативное изображение в правополяризованном свете. При совмещении основных особенностей спекл-картин координатные сетки оказались развернутыми относительно друг друга на угол $\phi = 1,4 \pm 0,5^\circ$. Оценка по формуле (1), в которой δn было заменено на Δn , при той же длине световода $l = 96$ см дает угол $3,2^\circ$. Количественное несовпадение связано, видимо, с тем что при выводе выражения (1) профиль показателя преломления предполагался параболическим, а не ступенчатым. Однако, в нашем эксперименте получен верный знак эффекта и совпадение по порядку величины угла поворота. Эти обстоятельства дают основание полагать, что нами экспериментально обнаружено (по нашему мнению, впервые) влияние циркулярности поляризации на скручивание первоначально плоской траектории луча.

Для предсказанного и обнаруженного явления мы хотели бы предложить название "оптический эффект пинг-понга" или "оптический эффект Магнуса". В самом деле, рассмотрим шарик для настольного тенниса (пинг-понга), падающий по нормали к шероховатой поверхности стола. Если шарик вращался вокруг оси, то после отскока он отклонится от нормали в соответствующем направлении. Такого же знака отклонение происходит при движении вращающегося шарика в воздухе за счет эффекта Магнуса.

Фотон, испытывающий многократные отражения в световоде со ступенчатым профилем преломления, или многократное плавное преломление в градиентном световоде, можно уподобить шарику в пинг-понге. При этом знак циркулярной поляризации отвечает знаку вращения шарика. Любопытно, что знак оптического эффекта совпадает со знаком механического эффекта, если под вращением фотона подразумевать вращение электрического поля в зависимости от времени в данном фиксированном сечении $z = \text{const}$.

Другой способ описания эффекта основан на аналогии световых волн с волнами де Броиля. В терминах квантовой механики наш эффект можно расс-

матривать как взаимодействие спинового момента фотона (поляризационной степени свободы) с проекцией его орбитального момента на ось световода. Мы, однако, не приводим математической записи этого утверждения.

Авторы благодарят В.В.Шкунова за полезный совет и З.А.Баскакову за волокно, на котором был обнаружен эффект.

Литература

1. Зельдович Б.Я., Либерман В.С. Квантовая электроника, 1990 17, 493.
 2. Рытов С.М. ДАН СССР, 1938, 18, 2; Труды ФИАН, 1940, 2, 1.
 3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982.
 4. Есаян А.А., Зельдович Б.Я. Квантовая электроника, 1988, 15, 1.
 5. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
-