

ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ МНОГОМОДОВОГО ВОЛОКНА НА УГЛОВОЕ ВРАЩЕНИЕ ЛУЧЕВОЙ КАУСТИКИ

А.В.Воляр, Ю.Н.Мицай, С.Н.Лапаева

Недавно для слабоградиентных (квадратичных) [1] и сильно градиентных волокон [2] было обнаружено явление вращения плоскости распространения локальной волны. По существу, плоская поверхность распространения лучевой траектории заменялась поверхностью прямого [1] или непрямого [2] геликоида, объединяющего каустики как меридиональных, так и косых лучевых траекторий. Эффект возникновения углового вращения лучевой каустики можно связать с открытием Ф.И.Федоровым в 1955 г. бокового смещения светового потока при полных внутренних отражениях (ПВО) [3]. Однако попытки экспериментального определения величины бокового смещения при отражении от плоской поверхности нельзя считать вполне достоверными, поскольку величина смещения составляла доли длины волны зондирующего потока даже при использовании мультиплицирования бокового смещения [4]. Вопрос взаимосвязи кривизны отражающей поверхности с величиной бокового смещения в литературе до сих пор не обсуждался.

Целью данной работы являлось исследование влияния кривизны отражающей поверхности на удельное вращение лучевой каустики. Поскольку в литературе имеются противоречивые данные о направлении вращения лучевой каустики в зависимости от направления круговой поляризации возбуждающего потока, то в задачу исследований вошел также вопрос о соотношении направления циркуляции поляризации и лучевой каустики.

1. Исследования проводились для кварц-кварцевых прямых волокон круглого поперечного сечения с различными радиусами кривизны и приблизительно одинаковым модовым составом транслируемого поля. Экспериментальная установка и метод исследования были подробно описаны в работе [2]. Выбирались волокна со ступенчатым профилем показателя преломления и длиной 10 см.

На рис. 1 приведена кривая 1 зависимости удельного кручения лучевой каустики χ от обратного квадрата ра-

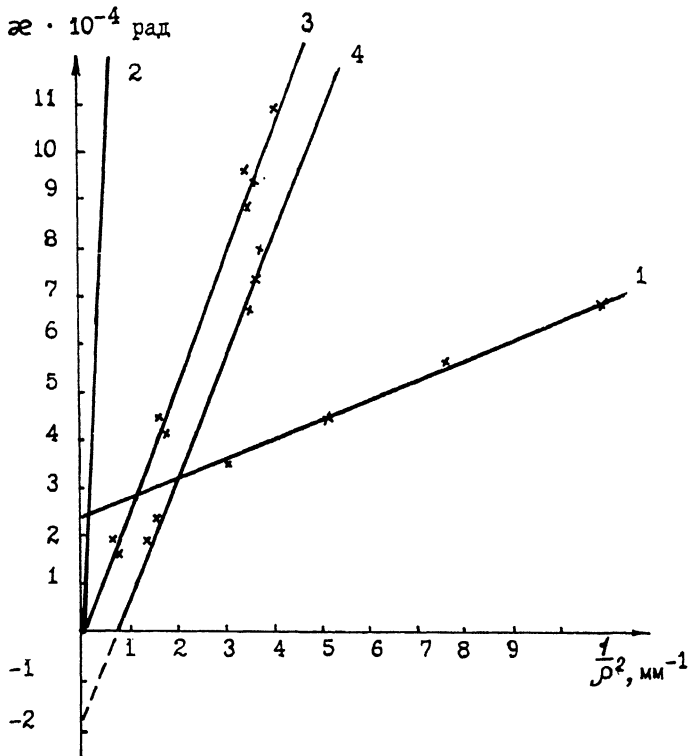


Рис. 1. Зависимость удельного углового смещения от квадрата кривизны отражающей поверхности.

Кривая 1 — круглое сильно градиентное волокно; кривая 2 — круглое слабо градиентное волокно 1; 3, 4 — эллиптическое сечение.

диуса кривизны многомодового волокна. Из хода кривой можно сделать вывод, что удельное кручение x обратно пропорционально квадрату радиуса $x \sim 1/\rho^2$. Для сравнения на рис. 1 приведена кривая 2, рассчитанная по эвристической формуле работы [1]. Их сравнение дает хорошее качественное согласование. Зависимость удельного кручения от обратного квадрата радиуса кривизны волокна носит глубокий физический смысл. В самом деле, линейное смещение Федорова [3], возникающее на элементе кривизны отражающей поверхности, обратно пропорционально радиусу кривизны ρ . Но, с другой стороны, набег углового вращения также обратно пропорционален ρ . В результате имеем $x = A\lambda/\rho^2$, где λ — длина волны излучения, A — некоторая константа, зависящая от свойств волокна. Поскольку величина ρ в нашем случае составляет десятые доли мил-

лимметра, то $\rho^2 \sim 10^{-6}$, т.е. по своей величине соответствует длине световой волны. Интересно отметить, что экспериментально вычисленное линейное боковое смещение Федорова для всех волокон оставалось примерно одинаковым и в среднем составляло величину 10^{-7} м. Некоторое различие в кривых 1 и 2, по-видимому, связано с различными типами исследуемых волокон.

2. Исследовалась зависимость удельного кручения κ от радиуса кривизны в эллиптических волокнах. Как известно, эллиптические отражающие поверхности обладают тремя свойствами:

- 1) лучи, пересекающие один из фокусов, асимптотически приближаются к большой полуоси эллипса;
- 2) лучи, пересекающие пространство между двумя фокусами, образуют две гиперболические каустики;
- 3) лучи, пересекающие большую полуось в стороне от одного фокуса, образуют эллиптическую каустику. Эти свойства были положены в основу расчета эффективного радиуса кривизны при определении зависимости $\kappa(\rho)$. Экспериментально исследовалось два эллиптических волокна с эксцентриситетом: $1-\epsilon \approx 0.6$ и $2-\epsilon = 0.87$ и, соответственно, малыми полуосями $a_1 = 0.8$ и $a_2 = 0.5$ мм.

На рис. 1 кривая 3 соответствует зависимости $\kappa(\rho)$ для волокна 1, кривая 4 — для волокна 2. Из хода кривых видно, что они имеют более крутой характер наклона касательной к оси x , чем для круглых волокон. Такое поведение объясняется дополнительным физическим процессом, связанным с геометрией эллиптического поперечного сечения.

На рис. 2 приведена диаграмма мгновенных радиусов, на которых в основном экспериментально регистрировались лучевые каустики.

Если расстояние между центрами мгновенных окружностей отрицательно (рис. 2, а), то замечается уменьшение величины углового вращения κ . Если центры мгновенных окружностей лежат на отражающей поверхности (рис. 2, б), то величина $\kappa = 0$, удельное кручение отсутствует. Происходит компенсация двух эффектов. Такой же эффект наблюдался экспериментально для ленточных волокон с почти плоскими отражающими поверхностями. Для достаточно удаленных центров мгновенных окружностей наблюдается резкое увеличение удельного вращения (рис. 2, в). Если центры мгновенных окружностей отстоят на некотором расстоянии от противоположных граней, то направление вращения κ меняет знак (рис. 2, г). На кривой 4 рис. 1 это показано пунктирной линией.

3. Исследовалась взаимосвязь направления циркуляции возбуждающей поляризации и направления вращения каустик. Чтобы не ошибиться в ориентации осей анизотро-

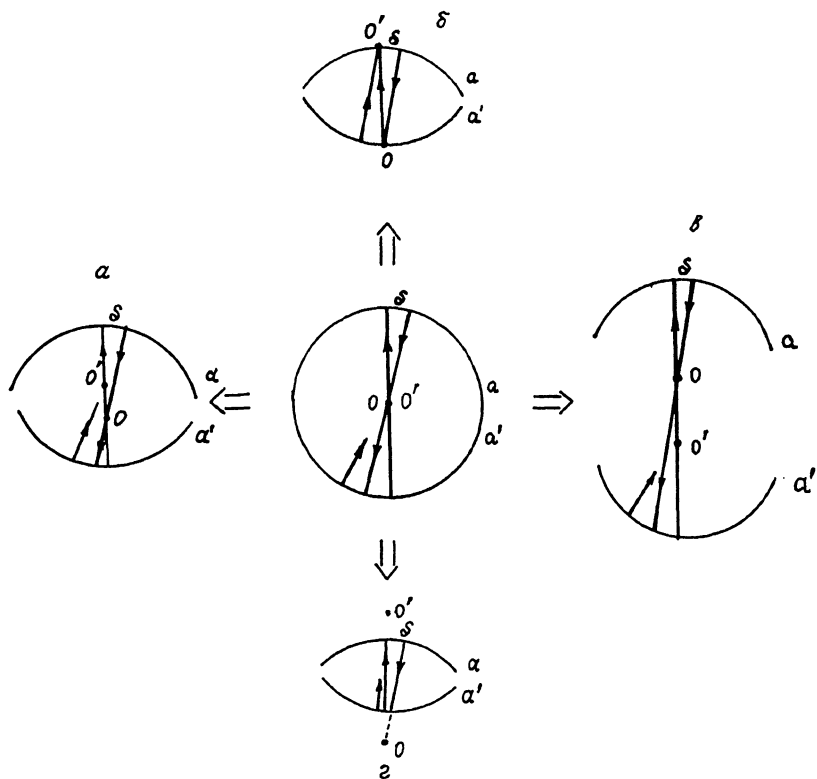


Рис. 2. Диаграмма процесса изменения удельного вращения для эллиптических волокон.

пии, в качестве поляризаторов экспериментально использовалась брюстеровская оптика, а в качестве $\lambda/4$ пластинок — ромбы Френеля. Было найдено, что направление циркуляции поляризации и вращения каустик совпадает, что подтверждает эвристический результат работ [1,3].

4. Экспериментальный интерес представляет принципиальность выбора поляризации отсчета. Изменяя азимут наклона линейной поляризации, определяли величину и направление вращения $\kappa(\rho)$ [3] при смене состояния поляризации с линейной на правоциркулярную. Было обнаружено, что безотносительно к азимуту линейной поляризации возбуждающей волны величина удельного кручения $\kappa(\rho)$ между собой совпадает в пределах ошибки эксперимента. Этот факт указывает на равноправность выбора в качестве точки отсчета произвольной линейной поляризации.

Авторы признательны Б.Я.Зельдовичу за полезное обсуждение результатов работ.

Список литературы

- [1] *Dugin A., Zeldovich B., Kundikova N., Liberman B.* // Phys. Rev. (A). 1992. V. 45. N 11. P. 8204–8208.
- [2] *Воляр А.В., Лапаева С.Н., Мягков В.И.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 8. С. 53–57.
- [3] *Федоров Ф.И.* // ЖПС. 1977. Т. 27. В. 4. С. 580–588.
- [4] *Elmbert C.* // Phys. Rev. (D). Particles and fields. 1972. V. 5. N 4. P. 785–796.

Симферопольский
государственный университет
им. М.В.Фрунзе

Поступило в Редакцию
8 января 1994 г.
