

## ДИФРАКЦИОННЫЕ КАТАСТРОФЫ ПОЛЯ МНОГОМОДОВОГО ВОЛОКНА.

### I. СБОРКА УИТНИ И ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ БИФУРКАЦИИ

© *А.В.Воляр, Н.А.Грошенко, Т.А.Фадеева, Э.А.Модникова*

При косом возбуждении короткого многомодового волокна, помещенного в одно из плеч интерферометра Маха-Цендера, формируется кольцевая интерференционная картина вблизи волновой каустики типа гиперболической омбилики. Перемещение референтного пучка в окрестности точки возврата каустики превращает однокольцевую интерференционную картину в трехкольцевую, два интерференционных кольца которой находятся в противофазе по отношению друг к другу. Во внутренней области каустики два сфазированных кольца вырождаются в одно.

Наблюдаемые явления объясняются на основе интерференции квазиплоской волны с полным фронтом в форме сборки Уитни и сферического гауссова пучка.

Возникновение оптических каустик в ближнем поле излучения коротких многомодовых волокон связано, с одной стороны, с дифракцией локальных плоских волн на кривизне поверхности раздела и, с другой стороны, с неуставовившимся режимом собственных мод волокна [1]. Волновая каустика отражает особенность поля, для которой отношение амплитуды волны на каустике к амплитуде волны в области тени стремится к бесконечности [2]. В терминах функции комплексного переменного это соответствует случаю неоднозначности фазы напряженности электрического поля [3]. Эта неоднородность, например, проявляется как скачок фазы на  $\pi$  при пересечении каустики. Из множества оптических каустик внимание привлекает дифракционная оптическая катастрофа типа сборки Уитни. Она объединяет в себе основные свойства касповидных поверхностей: в малой пространственной области имеют две особые линии и одну точку возврата [4].

Цель данной работы заключается в изучении интерференционных свойств дифракционной катастрофы типа сборки Уитни поля излучения многомодового волокна вблизи точки возврата.

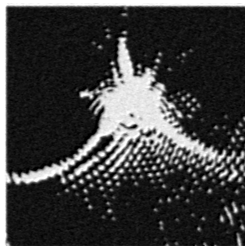
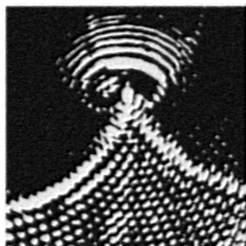
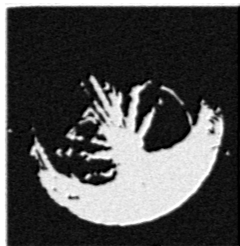
1. Экспериментально исследовалась эволюция интерференционной картины, возникающей при сложении предметного пучка света, прошедшего короткое многомодовое волокно и образовавшего каустическую вязь с референтным

гауссовым пучком света, который можно было смещать параллельно самому себе вблизи точки возврата каустической кривой.

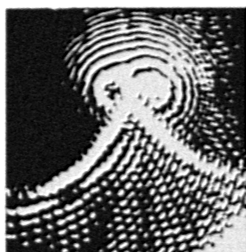
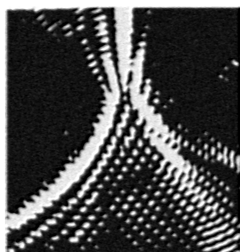
Свет He-Ne лазера ( $\lambda = 0.6328$  мкм) мощностью 1 мВ возбуждал интерферометр Маха-Цендера. В одно из плеч интерферометра помещалось прямое существенно многомодовое волокно с диаметром сердцевины 500 мкм, числовой апертурой 0.68 и длиной 8 см. Лазерное излучение вводилось в волокно посредством  $20\times$  микрообъектива, оптическая ось которого составляла  $2^\circ$  с осью волокна. На выходном торце волокна формировались волновые каустики, картина которых проецировалась на экран (рис. 1, *a1*). Во втором плече формировался фундаментальный гауссов пучок, который после прохождения делительной призмы локализовался в области точки возврата каустики (рис. 1, *a2*). Вдали от каустики интерференционная картина представляла единичные концентрические кольца. Смещение референтного пучка вдоль биссектрисы каспоида к его вершине (точке возврата) приводила к деформации интерференционных колец (рис. 1, *a3, a4*). В точке возврата каустики внешнее кольцо интерференционной картины формировало искаженную "восьмерку", внутри которой в одном кольце появляется интерференционный максимум, а в другом — минимум (рис. 1, *b1*).

Дальнейшее смещение референтного пучка вдоль биссектрисы каспоида замыкало интерференционные кольца на каустические кривые (рис. 1, *b2*). Смещение пучка в области точки возврата приводило к формированию серповидных интерференционных дуг (рис. 1, *b3, b4*). Во внутренней, ближней к точке возврата, области каустики возникает единичное интерференционное кольцо с центральным минимумом, окруженное сложной картиной полос (рис. 1, *в1*). Смещение референтного пучка внутрь от точки возврата приводит к появлению трех пересекающихся интерференционных колец (рис. 1, *в2*). Внутри каустики вблизи точки возврата три кольца частично разделяются (рис. 1, *в3*): два кольца интерференционной картины софазны, а одно — в противофазе. В остальной внутренней области каустики вблизи биссектрисы каспоида два сфазированных интерференционных кольца вырождаются в одно, так что в конечной точке получаем две кольцевые противофазные интерференционные картины (рис. 1, *в4*).

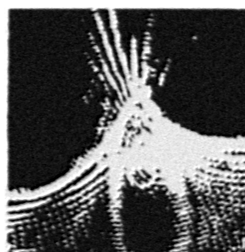
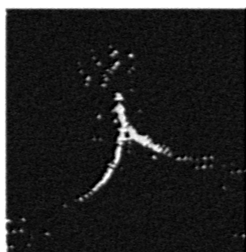
2. Для выявления физического механизма описанного интерференционного взаимодействия каустической поверхности с гауссовым пучком воспользуемся методом теории дифракционных катастроф [2,5].

$\alpha$  $\delta$  $\beta$ 

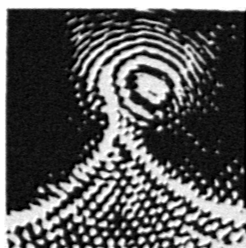
1



2



3



4

Рис. 1. Эволюция интерференционной картины вблизи точки возврата каустики типа сборки Уитни и опорного гауссового пучка.

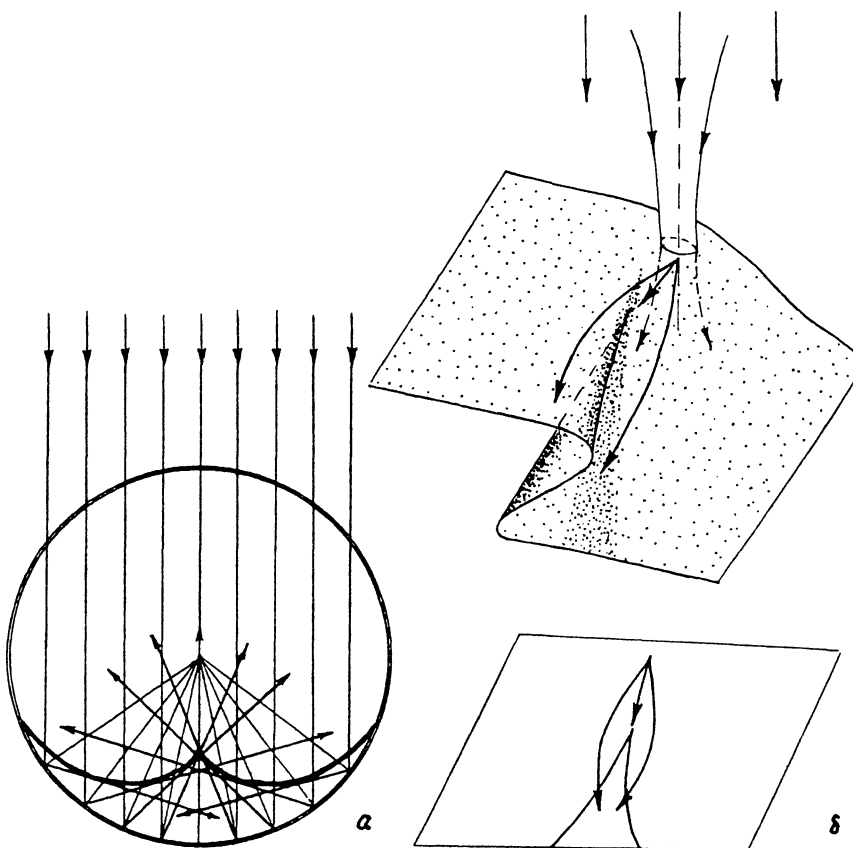


Рис. 2. Лучевая касповидная каустика в поперечном сечении многомодового волокна (а); волновой фронт типа сборки Уитни и бифуркация интерференционной картины (б).

Геометрию формирования каустики (рис. 1, а1) можно понять из рис. 2, а, на котором приведена проекция касательной поверхности к семейству косых лучей, отраженных от цилиндрической поверхности раздела двух сред. Известно, что эта кривая представляет собой одну ветвь эпициклоиды (нефроиды) [2]. Волновой механизм формирования каустики [2] заключается в образовании дифракционной картины, характерной для катастрофы типа гиперболической омбилики по классификации Тома [3]. Если отвлечься от несущественных дифракционных деталей этой катастрофы, то в области точки возврата эту каустику можно аппроксимировать катастрофой сборки Уитни. Представим, что сложная

дифрагировавшая волна имеет волновой фронт в области точки возврата типа сборки Уитни (рис. 2, б). Вид волнового фронта можно описать уравнением катастрофы сборки [2], считая, что волна распространяется в направлении  $z$ :

$$ax^3 + bxy + cz = 0, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — произвольные постоянные. Проекция такого волнового фронта на плоскость наблюдения проявляется в образовании каустики, имеющей форму каспа. При перемещении пробного гауссового пучка от особой точки возврата каспа вдоль его биссектрисы возникает интерференция пучка с тремя листами поверхности сборки, что приводит к формированию трех интерференционных колец. Во внутренней области каустики остается только два интерференционных кольца, что свидетельствует о квазипараллельности верхнего и нижнего листа волнового фронта в этой области. При приближении к точке возврата вдоль биссектрисы из внешней области поверхность волнового фронта (состоящая из одного листа) изгибается, порождая искажения концентрических интерференционных колец. Две ветви каспа находятся в противофазе друг к другу. Поэтому в точке возврата возникают две противофазные интерференционные картины. Точка возврата является структурно неустойчивой по отношению к малым возмущениям положения опорного гауссового пучка (рис. 1, б1–б4). Возникает не только искажение интерференционных полос, но и противофазная эволюция интерференционных колец. В этом смысле реакцию волнового фронта типа сборки Уитни на референтный гауссов пучок можно рассматривать как переходы на фазовой плоскости типа седло–узел, соответствующие простым точкам оптических бифуркаций.

Работа выполнена при частичной поддержке Фонда фундаментальных исследований Госкомитета по науке и технике Украины.

### Список литературы

- [1] Воляр А.В., Лапаева С.Н., Фадеева Т.А. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 16. С. 9–13.
- [2] Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980. 605 с.
- [3] Berry M. // Physics of defects, Les Houches Session XXXV, 28 July–29 August 1980. Amsterdam, New York, Oxford: North Holland. 1981. P. 453–543.
- [4] Брежер Т., Ландер Л. Дифференцируемые ростки и катастрофы. М.: Мир, 1977. 207 с.
- [5] Арнольд В.И. // УМН. 1972. Т. 27. В. 5. С. 119–184.

Симферопольский  
государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
17 июня 1996 г.