

УШИРЕНИЕ СПЕКТРА ПРИ САМОФОКУСИРОВКЕ СВЕТА В СТЕКЛАХ

Н.Ф.Бондаренко, И.В.Еремина, В.И.Таланов

При самофокусировке света в жидкостях наблюдается аномальное уширение частотного спектра в канале самофокусировки, достигающее для пикосекундных импульсов величины порядка нескольких сот ангстрем [1–3]. Нами при изучении самофокусировки излучения неодимового лазера ($\lambda = 1,06 \text{ мк}$) в стеклах было обнаружено уширение спектра излучения, перекрывающее диапазон волн (0,45 – 1,06) мк.

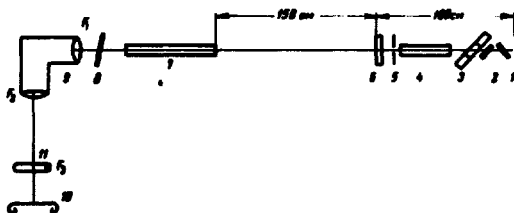


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – глухое зеркало, 2 – плоскопараллельные полярирующие пластины, 3 – нелинейный фильтр, 4 – активный элемент (340 × 20) в 4-х эллипсном осветителе, 5 – круговая диафрагма ($\phi = 2,5 \text{ мм}$), 6 – плоскопараллельная выходная пластина, 7 – стеклянный стержень, 8 – фильтр СЗС-15, 9 – спектрограф ИСП-51 ($F_1 = 304 \text{ мм}$, $F_2 = 800 \text{ мм}$), 10 – фотопленка, 11 – цилиндрическая линза $F_3 = 150 \text{ мм}$

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Неодимовый лазер с четырехламповым осветителем (лампы ИФП-5000) работал на основной поперечной моде при модуляции добротности резонатора просветляющимся фильтром. Соответствующей юстировкой элементов генератора и введением дополнительных селектирующих пластинок можно было обеспечить как излучение одночастотного моноимпульса, так и частичную синхронизацию мод (рис. 2, а). Во втором случае спектр излучения имел ширину порядка $(5 + 10) \text{ \AA}$.

Самофокусировка коллимированного луча ОКГ в образцах силикатного стекла наблюдалась лишь в режиме частичной синхронизации. В режиме моноимпульса даже при использовании дополнительного усилителя никаких изменений в структуре луча не обнаруживалось. Самофокусировка одновременно возникла и в активном элементе ОКГ, что приводило к нерегулярностям ближнего поля. Поэтому исследуемые образцы стекла размещались на расстоянии 150 см от генератора, где поперечная структура луча была близка к гауссовой.

Самофокусировка изучалась в неодимовом стекле ЛГС-228 и в стекле типа ЛК с широкой областью прозрачности от ближнего ультрафиолета до 1,4 мк.¹⁾ Возникновение канала самофокусировки в исследуемом образце стекла индуцировалось по появлению на его выходном торце яркой точки в луче генератора. При этом ни нитевидных разрушений стекла в канале самофокусировки, ни характерного для них бокового свечения канала не наблюдалось. Самофокусировка в образцах стекла ЛГС-228 на длине от 118 до 405 мкм происходила в интервале энергий (0,4 + 0,15) Дж.

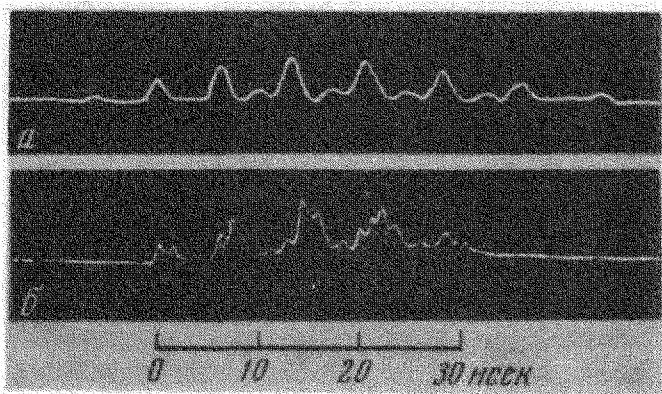


Рис. 2. Осциллограммы импульсов излучения: а) на выходе генератора, б) на выходе исследуемого образца после фильтра СЗС-22

Для регистрации картины уширения спектра выходной торец стеклянного стержня проектировался через спектрограф ИСП-51 (рис. 1) на фотопленку. На рис. 3 (см. вкл.) показаны зафиксированные на различных фотопленках картины пространственно-спектральных распределений поля на торце. Для сравнения там же приведен спектр ртутной лампы. Яркая осевая линия на рисунках 3, а, 3, б представляет собой разложенное в спектр изображение конца нити самофокусировки. Спектр нити охватывает широкий диапазон длин волн, перекрывающий всю видимую область. Нить окружена ореолом, пропадающим лишь для стекла ЛГС-228 в полосах поглощения²⁾. Ореол уменьшается при укорочении стержня и практически совсем исчезает при длине стержня, соответствующей моменту исчезновения точки на торце. При дальнейшем укорочении стержня вместе с точкой самофокусировки на торце пропадает и эффект уширения спектра.

¹⁾ Точная марка второго стекла нам неизвестна.

²⁾ Изменение ширины ореола в зависимости от длины волны в значительной степени связано с неравномерностью чувствительности фотопленки и сильным увеличением дисперсии прибора ИСП-51 на коротковолновом участке спектра.

Поляризация и временной ход излучения, измеренные в диапазоне (0,35–0,6) мк (фильтр СЗС-22), оказались такими же, как в луче генератора, за исключением лишь большей изрезанности отдельных пучков (рис. 2, б).

На рис. 3 приведены также спектральные картины дальнего поля излучения после самофокусировки. Они получены с помощью цилиндрической линзы 11 (рис. 1), установленной таким образом, что плоскость первоначального изображения торца совпадает с фокальной плоскостью всей установки в сечении фокусировки этой линзой. Во всем наблюдаемом спектральном интервале излучения, кроме полос поглощения, имеется острый максимум, окруженный слабым фоном с расходимостью в несколько градусов. На длинноволновом конце спектра фон резко очерчен двумя интенсивными лучами, выходящими из окрестности точки $\lambda = 1,06$ мк. Расстояние между лучами зависит от марки стекла. Для стекла ЛГС-228 в диапазоне $\lambda < 0,83$ мк граница фона отрывается от лучей и монотонно приближается к осевой линии с укорочением длины волны; для стекла ЛК подобной границы нет. На рис. 3, в показана диаграмма излучения, вышедшего из стекла ЛК, снятая с большим спектральным разрешением (в плоскости торца стержня была установлена вертикальная щель шириной 0,4 мм). В окрестности осевой линии ($\theta = 0$) видны характерные "усы", описываемые параболическим законом $\Delta\lambda \sim \theta^2$.

Аналогичная картина самофокусировки наблюдалась в сапфире. Несомненно, что как самофокусировка, так и преобразование спектра связаны с малоинерционным механизмом электронной нелинейности. Как показывают оценки, наблюдаемые уширения спектра, в принципе, достижимы в среде с такой нелинейностью за счет фазовой автомодуляции [4, 5] схлопывающихся сверхкоротких импульсов¹⁾. Особенности ближнего и дальнего поля после самофокусировки могут быть обусловлены аберрациями нелинейной нестационарной линзы, образующейся в канале самофокусировки. Вместе с тем нельзя не обратить внимание на то, что кинематически дальнее поле похоже на картину аномального (сверхсветового) эффекта Доплера [6], который наблюдался бы при прохождении осцилляторов с различными собственными частотами ω , через среду с нормальной дисперсией $n'_\lambda < 0$ ²⁾, при этом ограничивающие лучи на длинноволновом конце спектра следовало бы интерпретировать как черенковское излучение статического источника³⁾.

1) В пользу указанного механизма говорят и предварительные эксперименты со второй гармоникой неодимового лазера, которые показали, что сверхуширение спектра происходит в обе стороны от основной частоты.

2) Такой дисперсией обладают стекла и сапфир в рассматриваемом диапазоне.

3) На возможность возникновения черенковского и переходного излучения от ступок усредненной поляризации впервые обратил внимание Г.А. Аскарьян [7]. Самофокусировка моноимпульсов (с образованием бегущих фокальных точек [8]) или сверхкоротких импульсов (с образованием сопровождающих движение импульса областей интенсивной нелинейной поляризации) открывают, по-видимому, пути для исследования этого эффекта. (Как любезно сообщил нам В.В. Коробкин, в экспериментах по самофокусировке в сероуглероде отраженные импульсы стоковой компоненты возникают преимущественно на выходной внутренней грани кюветы. Возможно, такой эффект объясняется появлением переходного излучения).

Высказанные соображения о природе наблюдаемого эффекта сверхширения спектра предполагается уточнить в ходе дальнейших экспериментов.

Авторы признательны А.В.Гапонову и А.А.Андронову за полезные дискуссии.

Научно-исследовательский
радиофизический институт
г. Горький

Поступила в редакцию
22 июня 1970г.

Литература

- [1] F.Shimizu. Phys. Rev. Lett., 19, 1097, 1967.
 - [2] R. Poloni, C.A.Sacchi, O.Svelto. Phys. Rev. Lett., 23, 690, 1969.
 - [3] М.А.Большов, Г.В.Венкин, С.А.Жилкин, И.И.Нурминский, ЖЭТФ, 58, 3, 1970.
 - [4] Л.А.Островский. Письма в ЖЭТФ, 6, 807, 1967.
 - [5] F.De Martini, C.H.Townes, I.K.Gustafson, P.L.Kelly. Phys. Rev., 164, 312, 1967.
 - [6] В.Л.Гинзбург. УФН, 69, 537, 1959.
 - [7] Г.А.Аскарьян, ЖЭТФ, 42, 1360, 1962.
 - [8] В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 7, 153, 1968.
-