

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Joliot A., Joliot P. // *Comprend. Acad. Sci.* 1964. 258, N 18. P. 4622.  
[2] Clayton R. K. // *J. Theor. Biol.* 1967. 14, N 2. P. 173. [3] Рабинович Е. Фотосинтез. М., 1953. Т. 2. [4] Сорокин Е. М. // *Физиология растений.* 1972. 19, № 6. С. 1174. [5] Сорокин Е. М. // *Там же.* 1973. 20, № 5. С. 978. [6] Борисов А. Ю. // *ДАН СССР.* 1967. 173, № 1. С. 208. [7] Звалинский В. И., Литвин Ф. Ф. // *Биофизика.* 1982. 27, № 2. С. 202. [8] Звалинский В. И., Литвин Ф. Ф. // *Там же.* № 3. С. 410. [9] Звалинский В. И., Литвин Ф. Ф. // *Физиология растений.* 1983. 30, № 5. С. 881. [10] Кукушкин А. К., Тихонов А. Н., Блюменфельд Л. А., Рууге Э. К. // *Там же.* 1975. 22, № 2. С. 241. [11] Joliot P., Joliot A., Kok B. // *Biochim. et Biophys. Acta.* 1968. 153. P. 635. [12] Гавриленко В. Ф., Гусев М. В., Никитина К. А., Хоффманн П. Избранные главы физиологии растений. М., 1986. [13] Furbank R. T., Walker D. A. // *New Phytol.* 1986. 104, N 2. P. 207. [14] Wassink E. H., Kersten J. A. M. // *Enzymologia.* 1945. 11. P. 282. [15] Katz E., Wassink E. H., Dorrestein R. // *Enzymologia.* 1942. 10. P. 269. [16] Smith E. L. // *J. Gener. Physiol.* 1938. 22. P. 21. [17] Hoover W. H., Jonston E. S., Brackett F. S. // *Smithsonian Inst. Pub. Misc. Collections.* 1933. 87. P. 16. [18] Oettmeier W., Masson K. // *Biochim. et Biophys. Acta.* 1982. 679. P. 376. [19] Pölös E., Laskay G., Srigeti Z., Pataki Sz., Lehoczki E. // *Z. Naturforsch.* 1987. 42c. P. 783. [20] Laskay G., Lehoczki E. // *J. of Experimental Botany.* 1986. 37, N 183. P. 1558. [21] Караваев В. А., Шагурина Т. Л., Кукушкин А. К., Солнцев М. К. // *Изв. АН СССР, сер. биол.* 1985. № 3. С. 458.

Поступила в редакцию  
05.05.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 4

УДК 535.41:621.315.61:621.372.832.43:681.787

### ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Д. В. Баранов, М. И. Беловолов, И. В. Журилова, С. К. Исаев,  
А. П. Крюков, А. В. Кузнецов

(НИИЯФ)

Описан простой и компактный датчик пространственной когерентности, основанный на использовании волоконного направленного ответвителя и позволяющий проводить обработку сигнала на ЭВМ.

Степень пространственной когерентности (ПК) — одна из важнейших характеристик оптического излучения [1, 2]. Известен целый ряд методов как прямого, так и косвенного ее измерения (см., напр., [3—12]). Наиболее простым является метод, основанный на классическом опыте Юнга и позволяющий вычислить степень ПК для двух фиксированных точек поперечного сечения пучка по видности интерференционной картины [1]

$$|\gamma(S)| = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \frac{I_1 + I_2}{2\sqrt{I_1 I_2}}, \quad (1)$$

где  $S$  — расстояние между точками;  $I_{1,2}$  — интенсивности исходящих из них интерферирующих лучей, измеренные в точке наблюдения;  $I_{\max, \min}$  — интенсивности света в максимумах и минимумах интерференционной картины.

Трудности метода заключены прежде всего в способе регистрации интерференционной картины. Это либо фотографирование, либо сканирование приемником с диафрагмой, имеющей диаметр, значительно

меньший ширины интерференционной полосы. Поскольку картина создается в области геометрической тени, ее яркость мала. Для увеличения яркости необходимо уменьшать расстояние от отверстий до плоскости наблюдения, что приводит к сужению полос и опять-таки ограничивает светосилу.

Частично эти трудности преодолеваются, если в схеме Юнга использовать одномодовые волоконные световоды (ВС), сохраняющие информацию о фазе сигнала [13, 14]. Такая схема, показанная на рис. 1, а, позволяет практически произвольно выбрать масштаб интер-

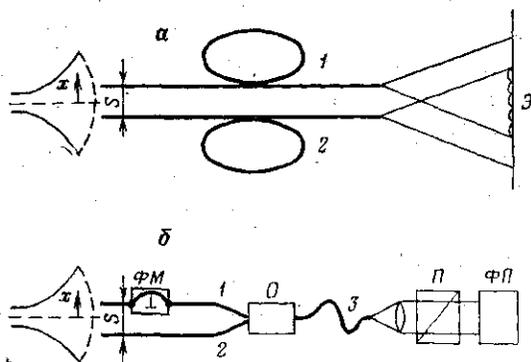


Рис. 1. Волоконный вариант опыта Юнга (а) и блок-схема датчика пространственной когерентности излучения (б): 1, 2, 3 — световоды, Э — экран с интерференционной картиной, О — направленный ответвитель, ФМ — фазовый модулятор, П — поляризатор, ФП — фотоприемник

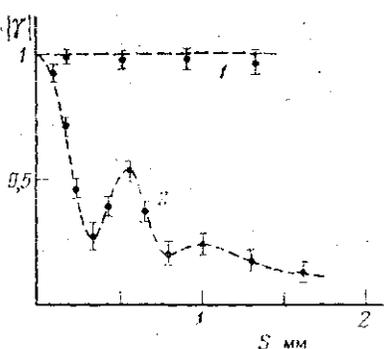


Рис. 2. Зависимость ПК  $|\gamma(S)|$  для одномодовой (1) и многомодовой (2) генерации He-Ne лазера

ференционной картины и разнести исследуемую плоскость пучка и регистрирующую аппаратуру. Важно также, что в создании интерференционной картины принимает участие почти весь свет, захваченный сердцевинкой ВС, что дает выигрыш в светосиле, если считать диаметры сердцевин ВС равными диаметрам отверстий в классическом опыте. Использование ВС по схеме рис. 1, а не снимает, однако, трудностей, связанных с методом регистрации: по-прежнему требуется либо фотографирование, либо сканирование картины.

В настоящей работе подробно описывается простой датчик ПК, основанный на использовании волоконного направленного ответвителя и позволяющий проводить электронную обработку сигнала. В схеме датчика, показанной на рис. 1, б, волны, распространяющиеся по световодам 1 и 2, смешиваются внутри ответвителя О, и их суперпозиция по световоду 3 направляется к выходу датчика. Выходной пучок коллимируется и через поляризатор П, выделяющий одно из возможных состояний поляризации в световодах 1 и 2, подается на фотоприемник, соединенный с осциллографом или другим регистрирующим устройством.

Чтобы получить возможность электронной обработки сигнала, фаза одной из интерферирующих волн должна подвергаться периодическому изменению на величину, большую чем  $2\pi$ . Для этого в один из оптических каналов вводится фазовый модулятор (ФМ). В результате величина сигнала на выходе датчика периодически меняется от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$ .

В конструкции датчика использовался направленный ответвитель У-типа на кварцевых световодах с диаметром сердцевинки 7 мкм, оболочки — 125 мкм и длиной волны отсечки 0,8 мкм [15]. Фазовая мо-

дуляция одной из интерферирующих волн достигалась за счет изменения с частотой до 1 кГц оптической длины световода  $l$  с помощью вибратора, растягивающего натянутый, как струна, участок световода длиной около 5 см. Работа датчика проверялась в измерениях степени ПК излучения He—Ne лазера с длиной волны  $\lambda = 1,15$  мкм.

Изменением наклона входных торцов световодов относительно измеряемого пучка или подстройкой положения оси поляризатора в экспериментах легко достигалось равенство интенсивностей интерферирующих волн  $I_1 = I_2$ . При этом формула (1) упрощается и величина  $|\gamma|$  элементарно находится из осциллограммы выходного сигнала.

На рис. 2 представлены экспериментально полученные зависимости  $|\gamma(S)|$  для одномодового (1) и двухмодового (2) излучения, представляющего собой смесь мод  $TEM_{00}$  и  $TEM_{01}$ . Эти результаты хорошо согласуются с известными (см., напр., [7]).

Указанные на рис. 2 погрешности измерений связаны с флуктуациями разностей фаз и амплитуд волн в световодах 1 и 2, вызванными случайными изменениями их взаимного расположения, градиентов температур и механических напряжений. Чтобы приблизить точность измерений  $|\gamma|$  к предельной, определяемой тепловыми флуктуациями среды световодов и шумами приемного устройства, необходимо усовершенствование конструкции датчика, позволяющее сделать внешние взаимодействия на световоды 1 и 2 одинаковыми по всей длине.

Предельное пространственное разрешение или минимальный измеряемый радиус ПК определяется диаметром световода. Быстродействие датчика ограничивается предельными частотой и амплитудой колебаний вибратора и характеризуется в нашем случае временами менее 1 мс.

Описанный датчик использовался нами и для измерений радиусов кривизны волновых фронтов лазерных пучков. Для этого пара входных торцов световодов сдвигалась относительно пучка перпендикулярно его оси (направление  $x$  на рис. 1, б). При выключенном фазовом модуляторе разность фаз волн в оптических каналах меняется вследствие кривизны фронта, что приводит к периодическому изменению выходного сигнала от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$ . Элементарный анализ показывает, что по сдвигу  $\Delta x$ , соответствующему одному циклу изменения сигнала (например, от одного минимума до другого), можно найти радиус кривизны:  $R = \Delta x S / \lambda$ . Поскольку  $\Delta x < d/2$  и  $S < d/2$ , где  $d$  — диаметр пучка, возможности применения датчика для измерения  $R$  ограничиваются соотношением  $R < d^2/4\lambda$ .

Работа датчика в качестве измерителя кривизны фронта проверялась на лазерных пучках, сформированных различными линзами. Смещение входных торцов световодов относительно пучка достигалось поворотом плоскопараллельной стеклянной пластинки, введенной в пучок. Для величин  $R$ , лежащих в диапазоне от 10 до 30 см, полученные экспериментально значения отличались от расчетных не более чем на 5%.

Предлагаемый датчик ПК прост в эксплуатации, компактен и удобен для экспресс-анализа излучения, в том числе и в ИК-диапазоне. Его существенным достоинством является возможность простого сопряжения с ЭВМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1970. [2] Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М., 1981. [3] Sillag L. C., Janossy M., Kaptor K. // Phys. Lett. 1966. 20, N 6.

- Р. 636. [4] Герке Р. Р., Денисюк Ю. Н., Локшин В. И. // Оптико-механическая промышленность. 1968. № 7. С. 22. [5] Назарова Л. Г. // Опт. и спектр. 1970. 34. С. 757. [6] Дрейден Г. В., Островский Ю. И., Шведова Е. Н. // Опт. и спектр. 1972. 32. С. 367. [7] Арутюнян А. Г., Ахманов С. А., Голяев Ю. Д. и др. // ЖЭТФ. 1973. 64, № 5. С. 1511. [8] Аракелян С. М., Пахалов В. Б., Чиркин А. С. // Опт. и спектр. 1976. 40, № 6. С. 1055. [9] Бергер И. К., Дерюгин И. А., Михеенко А. В. // Приб. и техн. эксперимента. 1978. № 1. С. 197. [10] Пахалов В. Б., Чиркин А. С., Юсубов Ф. М. // Квант. электроника. 1979. 6, № 1. С. 57. [11] Кузин В. А., Стаселько Д. И., Стригун В. Л. // Оптико-механическая промышленность. 1979. № 2. С. 57. [12] Алексеев В. А., Стригун В. Л., Шуленин А. В. // Журн. прикл. спектр. 1986. 45, № 1. С. 137. [13] Lagson A., Salzman J., Mittelstein M., Yariv A. // J. Appl. Phys. 1986. 60, N 1. P. 66. [14] Алексеев Э. И., Базаров Е. Н., Григорьянц В. В. и др. // Квант. электроника. 1977. 4, № 9. С. 2029. [15] Беловолов М. И., Гурьянов А. Н., Гусовский Д. Д. и др. // Там же. 1985. 12, № 9. С. 1873.

Поступила в редакцию  
25.05.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 4

## АКУСТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

УДК 534.222

### КИНЕТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

О. В. Руденко, В. А. Хохлова

(кафедра акустики)

Получено кинетическое уравнение типа Больцмана для функции распределения параметров случайной последовательности слабых ударных волн с учетом движения разрывных фронтов и их парных соударений. Исследована эволюция спектра интенсивности ансамбля слабых ударных волн с конечной шириной фронта.

Изменение статистических свойств мощного акустического шума во многом определяется нелинейными эффектами: образованием, движением и взаимодействием ударных фронтов [1, 2]. До сих пор этот процесс не удалось описать аналитически. Мы предлагаем исследовать его, исходя из аналогии между слабыми ударными волнами и газом неупруго взаимодействующих частиц [3]. На этом пути удается получить кинетическое уравнение типа Больцмана для функции распределения параметров ансамбля слабых ударных волн. Обратимся к выводу этого уравнения, его решению и расчету некоторых средних.

Пусть поле на расстоянии  $x$  представляет собой случайную последовательность слабых ударных волн — «ступенек» (рис. 1), эволюция которой описывается уравнением Бюргерса:

$$\frac{du}{dx} - \frac{\varepsilon}{c_0^2} u \frac{du}{d\tau} = -\frac{b}{2c_0^3 \rho_0} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} \quad (1)$$

Здесь  $u$  — колебательная скорость в волне, распространяющейся вдоль оси  $x$ ;  $\tau = t - x/c_0$  — время в сопровождающей системе координат;  $c_0$  — скорость звука;  $\varepsilon$ ,  $b$  — параметры нелинейности и диссипации;  $\rho_0$  — равновесная плотность среды.