

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., Ругге 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-

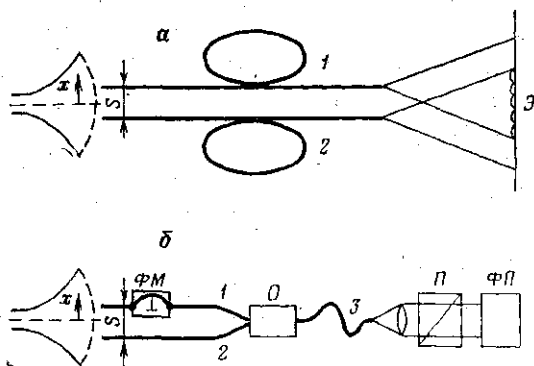


Рис. 1. Волоконный вариант опыта Юнга (а) и блок-схема датчика пространственной когерентности излучения (б): 1, 2, 3 — световоды, Э — экран с интерференционной картиной, О — направленный ответвитель, ФМ — фазовый модулятор, П — поляризатор, ФП — фотоприемник

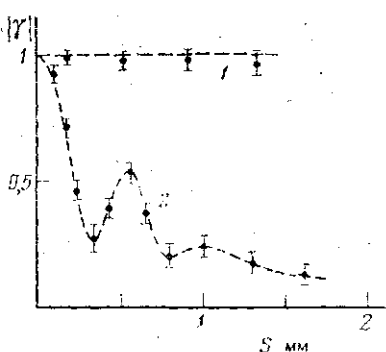


Рис. 2. Зависимость ПК $|\gamma(S)|$ для одномодовой (1) и многомодовой (2) генерации He-Ne лазера

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 2π . 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 Δx , 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., Kantor 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; ε , b — параметры нелинейности и диссипации; ρ_0 — равновесная плотность среды.