

ИЗМЕРЕНИЕ СТЕПЕНИ КОГЕРЕНТНОСТИ ЛАЗЕРА МЕТОДОМ ЮНГА

Л. Г. Назарова

Приводятся результаты измерения функции когерентности $|\gamma(r)|$ гелий-неоновых лазеров типа ОКГ-11. Измерения выполнены интерференционным методом Юнга. Вид функции когерентности зависит от режима работы генератора. «Коэффициент когерентности» лазера, определенный как значение функции когерентности $|\gamma(r_{0.5})|$ на расстоянии по сечению пучка $r_{0.5}$, равном полуширине распределения интенсивности пятна лазера, равен для двух исследованных экземпляров 0.7 и 0.9.

Введение

Важнейшее качество лазера — высокая степень когерентности по сравнению с другими оптическими источниками. Для сравнительного рассмотрения качества лазеров различных типов (а также различных экземпляров одного типа) полезно ввести количественную характеристику когерентных свойств лазера. Назовем «коэффициентом когерентности» лазера значение функции когерентности при расстоянии между точками по сечению пучка $r_{0.5}$, равном полуширине распределения интенсивности по пятну лазера. Поясним это определение. Известно, что нормализованная функция когерентности (степень когерентности) $\gamma(r)$ для абсолютно когерентного источника будет тождественно равна единице. Поле некогерентного источника также обладает некоторой мерой когерентности, которая может быть вычислена на основе теоремы Ван Циттерта—Зернике, если известно распределение интенсивности на источнике. Функция когерентности лазера $\gamma(r)$, очевидно, будет занимать промежуточное положение. Она весьма существенно зависит от распределения интенсивности по источнику. Интенсивность лазерного излучения спадает от центра пятна к периферии (в случае режима работы с одной поперечной модой распределение можно интерпретировать как гауссово). В качестве критерия когерентных свойств лазера удобно принять значение функции когерентности $\gamma(r)$ при разnose точек на расстояние, равное радиусу половинной мощности ($r=r_{0.5}$). Эту величину мы и называем «коэффициентом когерентности» лазера.

Методика измерений и описание установки

Для измерения степени когерентности лазера применялся метод Юнга. Свет лазера, дифрагировавший на двух точечных отверстиях, создает интерференционную картину. Интенсивность интерференционной картины может быть выражена через степень когерентности падающего света [1]

$$|\gamma| = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{4\sqrt{I_1 I_2}},$$

где I_{\max} и I_{\min} — максимальное и минимальное значения интенсивности интерференционной картины, I_1 и I_2 — интенсивности от первого и второго отверстий соответственно.

Схема установки приведена на рис. 1. Луч от источника света 1 (гелий-неоновый лазер типа ОКГ-11) проходил через механический модулятор 2, работавший на частоте 1000 гц, и попадал на дифракционный экран 3. Интерференционная картина фиксировалась фотоэлектрическим приемником 4. Приемник автоматически передвигался вдоль интерференционной

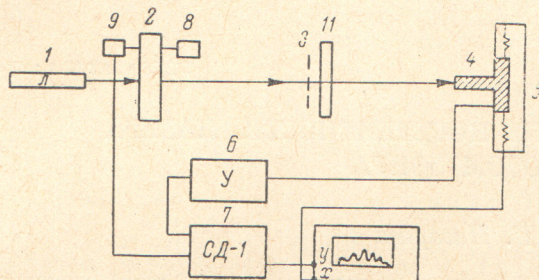


Рис. 1. Схема установки.

картины (перпендикулярно направлению луча лазера) с помощью специального электромеханического устройства 5. Сигнал с ФЭУ подавался на усилитель 6 и затем на синхронный детектор 7 типа СД-1. Расстояние от торца лазера до дифракционного экрана равнялось 80 см, приемник был расположен на расстоянии 5 м от дифракционного экрана. Этого было

достаточно для хорошего разрешения интерференционной картины в плоскости ФЭУ. На входе ФЭУ помещена спектрометрическая щель. Для записи интерференционной картины применялся двухкоординатный самописец типа ПДС-021. На координату x самописца подавалось напряжение с потенциометра, связанного с механизмом перемещения ФЭУ, на

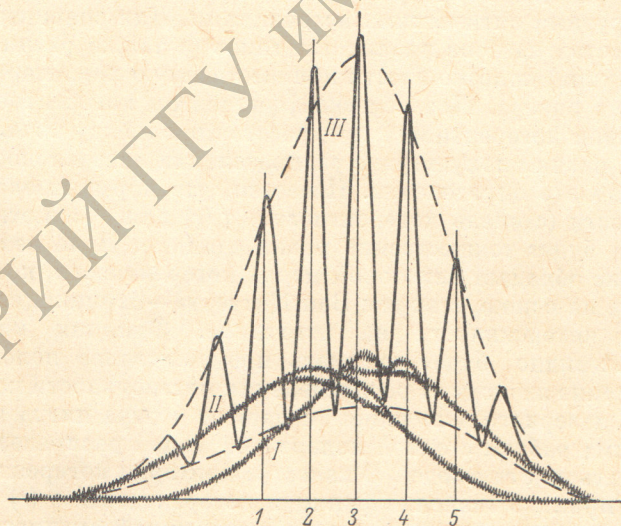


Рис. 2. Образец записи диаграммы.

Кривые I и II — записи интенсивности при одном (либо другом) открытом отверстии. Кривая III — интерференционная картина, возникающая, когда открыты оба отверстия. Штриховые кривые — огибающие максимумов и минимумов интерференционной кривой.

координату y — сигнал с выхода синхронного детектора. Прохождение ФЭУ вдоль всей интерференционной картины занимало 45—50 сек.

Таким же образом при отсутствии дифракционного экрана записывалось распределение интенсивности по сечению луча лазера. Опорный луч для синхронного детектора подавался с фотосопротивления 9, освещенного источником света 8 через модулятор 2. Дифракционный экран помещался в специальную кассету, снабженную микрометрическими винтами для перемещения поперек луча лазера в вертикальном и горизонтальном направлениях. Для перекрытия дифрагировавших лучей было установлено

специальное устройство 11, которое представляло собой тонкую металлическую пластинку, укрепленную на штативе с микрометрическим передвижением в горизонтальной плоскости. Дифракционные экраны выполнены в виде металлических пластинок толщиной 0.1 мм с двумя отверстиями. Диаметр отверстий 0.2 мм, расстояния между центрами отверстий от 0.3 до 1.7 мм.

Порядок измерений был следующий. Настройкой зеркал лазер приводился в режим колебаний с одной поперечной модой. Записывалось распределение интенсивности по сечению луча. Затем в кассету устанавливался дифракционный экран и фиксировалась возникающая интерференционная картина. Затем, перекрывая последовательно то одно, то другое отверстие в дифракционном экране, записывали (на той же диаграмме) распределение интенсивностей от одного и от другого отверстия. Этот цикл измерений занимал $1.5 \div 2$ мин. Как показали измерения, интерференционная картина нестабильна во времени. В основном это определяется нестабильностью самого лазера. Кроме того, играют роль механические сотрясения установки и главным образом непостоянство освещения каждого из отверстий вследствие «мерцания пятна» (этот эффект был особенно заметен тогда, когда применялись экраны с далеко отстоящими отверстиями, так что они попадали на периферию пятна). Поэтому для каждого экрана проводилась серия измерений (порядка 10) и $|\gamma|$ вычислялась по усредненной интерференционной картине (все измерения записывались на одну диаграмму). Таким образом, полученные значения $|\gamma|$ являются усредненными за время эксперимента (в среднем около 30 мин.). Образец диаграммы приведен на рис. 2.

Обработка диаграмм и оценка точности измерений

Для вычисления $|\gamma|$ из экспериментальной диаграммы проводили огибающие по максимумам и минимумам интерференционной картины (штриховые кривые на рис. 2). Затем проводили несколько (обычно 5) вертикальных прямых (1, 2, 3 и т. д. на рис. 2), на которых и брали точки отсчета для вычисления $|\gamma|$. Координата x есть угол дифракции φ . По значениям I_{\max} , I_{\min} , I_1 и I_2 , лежащим на одной вертикали (т. е. при одном значении дифракционного угла), получены значения $|\gamma|$.

Для каждой диаграммы (т. е. для каждого значения r — расстояния между отверстиями) $|\gamma|$ был вычислен при пяти значениях дифракционного угла φ . Затем находилось среднее значение $|\gamma|$. Точность определения $|\gamma|$ оценивалась как дисперсия σ_γ полученных для одной диаграммы (т. е. для данного значения r) значений $|\gamma|$. σ_γ менялась в пределах от 0.02 до 0.07, в большинстве случаев не превышая 0.04. Величина относительной ошибки $\sigma_\gamma/|\gamma|$ в большинстве случаев была равна 5—6%. Влияние атмосферной расфазировки двух лучей. Оценка этой расфазировки по формулам [2] показывает, что она ничтожно мала, и влиянием атмосферы можно пренебречь.

Результаты измерений

Результаты измерений функции когерентности приведены на рис. 3. Кривая 1 относится к лазеру № 1, кривые 2 и 3 — к лазеру № 2. Случаи 2 и 3 отличаются различной настройкой зеркал. Для сравнения на том же графике нанесена кривая 3' функции когерентности для некогерентного источника с экспоненциальным распределением интенсивности $I_{\text{нек.}} = e^{-(r/\rho)^2}$ при $\rho=0.5$ (при $r=0.93$ $I_{\text{нек.}}$ имеет уровень 0.03). Функция когерентности для некогерентного источника с радиусом по половинной мощности $r_{0.5}=0.93$ слишком быстро спадает, и на рис. 3 изображена быть не может. Функцию когерентности, соответствующую кривой 3, как

показывает расчет по теореме Ван Циттерта—Зернике, имел бы некогерентный источник с экспоненциальным распределением интенсивности и радиусом по половинной мощности, равным $r_{0,5}=0.065$ мм. Как

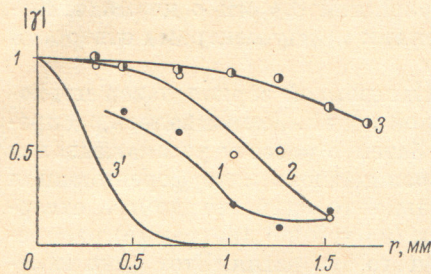


Рис. 3. Функции когерентности лазера $\gamma(r)$.

По оси абсцисс отложены расстояния r между центрами дифракционных отверстий Юнга (между точками по сечению луча, в которых измеряется взаимная когерентность). Кривая 3' — рассчитана для некогерентного источника с экспоненциальным распределением интенсивности и радиусом по половинной мощности 0.42 мм.

вершенством схемы. Коэффициенты когерентности, т. е. $|\gamma|_{r_{0,5}}$ для лазера 1 и лазера 2 в двух режимах работы приведены в таблице.

Кроме того, было измерено распределение степени когерентности по сечению луча лазера при $r_1=0.45$ мм. В пределах точности измерений (6%) оно было постоянным.

Закключение

Вид функции когерентности различен для различных экземпляров лазеров, а также зависит от настройки зеркал резонатора (для одного и того же экземпляра). «Коэффициент когерентности», определенный как значение функции когерентности при разнесении точек на расстояние, равное радиусу пятна по половинной мощности, оказался одинаковым для двух различных режимов работы лазера. Распределение степени когерентности при $r_1=0.45$ мм по сечению луча лазера было постоянным в пределах точности измерений (6%).

Коэффициент когерентности лазеров типа ОКГ-11

	Номер кривой на рис. 3		
	1	2	3
Лазер			
$r_{0,5}$, мм	0.58	0.52	0.93
$ \gamma _{r_{0,5}}$	0.69	0.93	0.93

Литература

- [1] M. Born, E. Wolf. Principles of Optics. Pergamon Press, 1964.
 [2] В. И. Татарский. Распространение волн в турбулентной атмосфере. Изд. «Наука», М., 1967.

Поступило в Редакцию 13 марта 1970 г.