

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 535.338.4

А.В. Еньшин

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БИГАРМОНИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

Проведено описание стенда для исследования эффектов рассеяния бимодального света при распространении его в атмосфере. В основу идеологии измерений положена дифференциальная схема, реализуемая с помощью двух оптических ветвей – опорной и рабочей, как в интерферометрических измерениях. Только в отличие от интерферометрии сравниваются не фазы, а амплитуды световых волн. Достигнутая точность в эксперименте не хуже 0,5% от величин измеряемых сигналов.

Введение

В [1 – 6] приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов взаимодействия бигармонического лазерного поля с атмосферными газами. Эти результаты открывали дополнительные возможности для традиционных приложений атмосферной спектроскопии, в частности при зондировании атмосферы методами активной спектроскопии комбинационного рассеяния (АСКР) [7].

Однако выяснилось, что для понимания динамики наблюдаемых в эксперименте процессов необходимо создание стенда, обеспечивающего возможность моделирования атмосферы в более широком диапазоне исследуемых параметров (химический состав, плотность и т.д.) и измерений величин регистрируемых сигналов с более высокими точностями, чем ранее достигнутые. В данной статье проведено описание и результаты испытаний созданного стенда, удовлетворяющего, по нашему мнению, этим требованиям. Его характерная особенность заключается в следующем.

Известно, что техника перестраиваемых лазеров, обычно используемая в экспериментах с бигармоникой, обеспечивает получение разностной частоты в диапазоне от нескольких единиц до тысяч обратных сантиметров [7]. Поэтому ее применение для решения задач оптики атмосферы ограничено из-за быстрой расходимости лучей бигармонической накачки. В предлагаемом стенде эти ограничения в большой мере сняты, так как в нем предусмотрено применение разностных частот в диапазоне от нескольких тысячных до единиц обратных сантиметров, что на три порядка меньше приведенных ранее величин.

В основу идеологии измерений на стенде положена дифференциальная схема, реализуемая с помощью двух оптических ветвей – опорной и рабочей, как в интерферометрических измерениях. Только в отличие от интерферометрии сравниваются не фазы, а амплитуды световых волн.

Рассмотрим подробнее функциональную схему стенда и характеристики его основных частей.

Функциональная схема стенда

Сущность работы функциональной схемы (рис. 1) заключается в следующем. Бимодальное излучение лазера 1 с помощью полупрозрачного зеркала 2 разделяется на два луча, один из которых проходит через рабочую камеру 4, окно в модуляторе 5 и далее объективом 6 направляется на входную щель спектрального прибора 7. Другой, опорный, через поворотные зеркала 3 и полупрозрачное 2 проходит известный путь в воздухе при комнатных температуре и давлении и затем также направляется на входную щель спектрального прибора. Модулятор света 5, вращаясь с заданной частотой, пропускает последовательно на входную щель спектрального прибора световые сигналы с рабочей и опорной ветвей схемы, которые после прохождения зеркального объектива и диспергирующего элемента спектрального прибора приходят на световоды 8, торцы которых расположены в фокальной плоскости камерного объектива

прибора. Световые сигналы по световодам 8 с исследуемых участков спектра направляются на блок фотоэлектронных умножителей 9 и после преобразования в электрические поступают в блок обработки информации 10, в котором запоминаются и сравниваются по амплитуде.

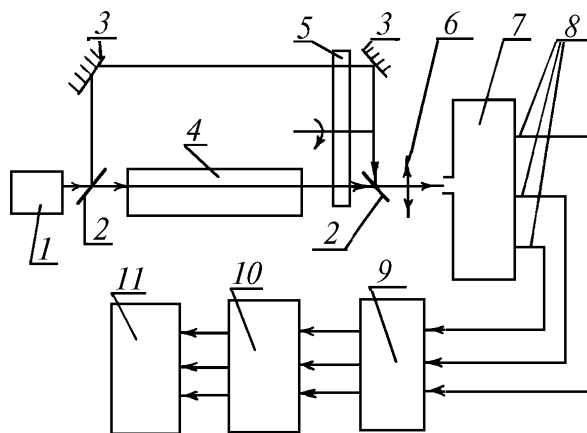


Рис. 1. Функциональная схема стенда для исследования эффектов распространения бимодального света через атмосферу: 1 – лазер, 2 – полупрозрачные зеркала, 3 – поворотные зеркала, 4 – вакуумная камера, 5 – модулятор света, 6 – приемный объектив, 7 – спектральный прибор, 8 – световоды, 9 – блок ФЭУ, 10 – блок обработки информации, 11 – осциллограф

Разностный сигнал усиливается и регистрируется на осциллографе 11. При изменении плотности или химического состава газа в рабочей камере по результатам обработки регистрируемых сигналов удастся получить зависимость сечения рассеяния исследуемого процесса (интенсивности рассеянного света) от варьируемых параметров рассеивающей среды или спектральных и энергетических характеристик бигармонического лазерного излучения.

Источник бимодального света и спектральная аппаратура

Как уже отмечалось, в экспериментах с бигармоникой обычно используют технику перестраиваемых лазеров [7]. Она позволяет получать разность частот в диапазоне от единиц до нескольких тысяч обратных сантиметров. Нами использовались разностные частоты от нескольких тысячных до единиц обратных сантиметров, что на три порядка меньше указанных величин. Поэтому для их получения применялись различные методы селекции продольных мод в используемых твердотельных и газовых лазерах: установка внутри резонатора эталона Фабри – Перо, диафрагм для подавления высших поперечных мод, а также варьирование длины резонатора и др. [8, 9].

В качестве анализатора спектра в стенде использован дифракционный спектрограф ДФС-452 со сменными дифракционными решетками 600 и 1200 штр./мм и относительным отверстием 1:20. Обратная линейная дисперсия прибора составляет 0,8...0,63 нм/мм – в первом порядке, и 0,5... 0,2 нм/мм – во втором. Регистрация наблюдаемых спектров производится либо на фотопластинку размером 9 × 24 см, либо на световоды, устанавливаемые в фокальной плоскости прибора. Поскольку участок спектра, <зона хорошего качества> прибора, имеет длину приблизительно 100 мм (по 50 мм в одну и другую стороны от центра кассетной части), осуществляется последовательное сканирование спектра, что позволяет зарегистрировать его в этой <хорошей зоне> во всем исследуемом диапазоне.

Осветительная система спектрографа состоит из трех конденсоров (либо заменяется одним конденсором) и конденсорной насадки. Нами использовался один конденсатор из стекла К8.

Рабочая камера и вакуумная техника

Рабочая камера выполнена в виде цилиндра длиной 170 см из кварцевой трубки диаметром около 5 см и окон из стекла К8. Она присоединена к вакуумному посту с помощью двух рукавов трубок из стекла К8, расположенных на концах рабочей камеры. Вакуумный пост укомплектован форвакуумным пластинчато-роторного типа 2НВР-5ДМ и диффузионным насосами, обеспечивающими давление в камере от 760 до 10^{-4} мм рт.ст. Предусмотрена возможность

заполнения рабочей камеры различными газами. Контроль давления в рабочей камере осуществляется в диапазоне давлений 760...1 мм рт.ст. – вакуумметром класса точности 1,0; в диапазоне 1...10⁻⁵ мм рт.ст. – вакуумметром ионизационно-термопарным типа ВИТ-2, укомплектованным преобразователями манометрическими: термопарным – ПМТ-2 и ионизационным ПМИ-2.

Регистрирующая аппаратура

На основе сравнительного анализа спектральных характеристик фотокатодов для регистрации оптических сигналов нами выбран фотоумножитель ФЭУ-79, имеющий многощелочной фотокатод и сравнительно высокие временные и амплитудные характеристики как в красной, так и фиолетовой областях спектра. Линейный режим эксплуатации ФЭУ контролировался и обеспечивался в диапазоне величин регистрируемых сигналов от 20 до 10000 мВ. Питание блока ФЭУ производилось от стабилизированных источников питания ВС-22, обеспечивающих стабильность не хуже 10⁻⁴, что соответствовало сформулированным требованиям к точности измерений.

С ФЭУ электрические сигналы поступают в блок обработки информации, который предназначен для их усиления, запоминания и сравнения. Блок имеет три идентичных канала обработки по числу одновременно регистрируемых сигналов. Рассмотрим подробнее работу блока обработки информации на примере одного из каналов.

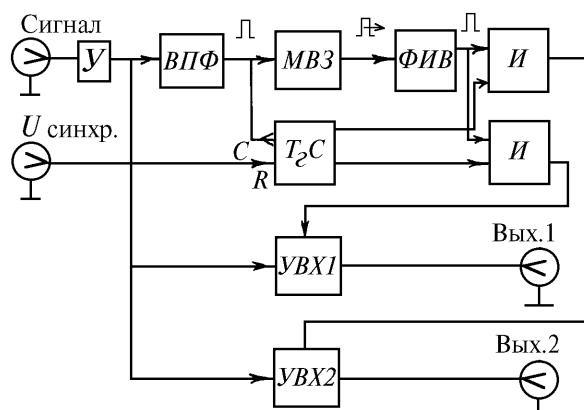


Рис. 2. Функциональная схема блока обработки информации: *У* – масштабирующий усилитель, *ВПФ* – устройство выделения переднего фронта, *МВЗ* – мультивибратор задержки, *ФИВ* – формирователь импульсов выборки, *И* – схемы совпадения, *Т₂С* – триггер синхронизации, *ВВХ1* и *ВВХ2* – устройства выборки и хранения рабочего и опорного сигналов соответственно

На рис. 2 представлена функциональная схема блока. Сущность ее работы заключается в следующем. Электрический сигнал с ФЭУ, представляющий собой последовательность импульсов 1, 2, 3 ... *n* из рабочего и опорного сигналов, идущих друг за другом с заданной частотой, подается на масштабирующий усилитель. В этой последовательности все рабочие импульсы заданы нечетными, а опорные – четными. Число отверстий и скорость вращения диска модулятора определяют частоту импульсов f_n , поступающих на вход масштабирующего усилителя *У* (рис. 2). Коэффициент усиления K_y регулировался в диапазоне величин 40÷100. При заданной скорости вращения диска и трех отверстиях в нем величина f_n составляла 100 Гц, а при 9 отверстиях частота f_n равнялась 300 Гц.

Усиленный импульсный сигнал далее поступает одновременно на два устройства выборки и хранения сигнала *ВВХ1* и *ВВХ2* и устройство выделения переднего фронта сигнала *ВПФ*, используемого для запуска мультивибратора задержки *МВЗ*. После срабатывания *МВЗ* сигнал поступает в формирователь импульсов выборки *ФИВ* и далее на схемы совпадения *И*, управляемые триггером синхронизации *Т₂С*. На счетный вход триггера поступают импульсы с *ВПФ*, а на вход *Р* (сброс) – сигнал синхронизации, сопровождающий только рабочий сигнал. Задержка импульса выборки относительно переднего фронта приходящего импульса необходима для исключения влияния переходных процессов. Импульс выборки через соответствующую схему *И* поступает на вход разрешения устройств выборки и хранения *ВВХ1* и *ВВХ2*.

В результате на выходе этих устройств сигналы с опорной и рабочей ветвей стенда появляются уже одновременно, что позволяет их сравнить с помощью осциллографа, имеющего дифференциальный вход. Нами в экспериментах использовался осциллограф С1-91.

Результаты испытаний стенда

Испытания стенда разделялись на два этапа: испытания вакуумной техники и испытания системы регистрации световых сигналов.

На первом этапе контролировалось время выхода на режим давления в рабочей камере порядка 10^{-4} мм рт.ст. После проведения комплекса пусконаладочных работ удалось достичь выхода на этот режим за 2 ч работы форвакуумного и диффузионного насосов, что, на наш взгляд, является достаточно высоким показателем качества сборки вакуумного поста и работоспособности насосов.

На втором этапе контролировалась возможность надежной регистрации минимальной модуляции светового сигнала при изменении параметров газа в рабочей камере. Эта величина, как показали многочисленные эксперименты, составляет примерно 0,5% измеряемой величины.

Заключение

По нашему мнению, созданный стенд может быть использован не только для исследования эффектов распространения бигармонического лазерного излучения через атмосферу, но и для решения других задач рассеяния, в которых исследуются процессы, например комбинационного рассеяния света на поляритонах в кристаллах, под малыми углами к направлению распространения возбуждающего излучения.

Автор выражает глубокую признательность А.А. Козлову за полезные рекомендации и практическую помощь при разработке схемы регистрации и создании стенда.

1. Еньшин А. В. // ДАН СССР. 1986. Т. 289. N 6. С. 1360 – 1362.
2. Еньшин А. В. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N 5. С. 48 – 54.
3. Еньшин А. В., Творогов С. Д. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. N 5. С. 456–461.
4. Еньшин А. В., Творогов С. Д. // XIII Международная конф. по когерентной и нелинейной оптике. (Тезисы докл.). Минск. 1988. Ч. IV. С. 108 – 109.
5. Еньшин А. В., Творогов С. Д. // ДАН СССР. 1990. Т. 314. N 3. С. 600 – 603.
6. Еньшин А. В., Творогов С. Д. // В сб.: IX Всес. симпоз. по молекулярной спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения. (Тезисы докл.). Томск. 1989. С. 98.
7. Ахманов С. А., Коротеев Н. И. Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света. Активная спектроскопия рассеяния света. М.: Наука, 1981. 544 с.
8. Демтедер В. Лазерная спектроскопия. Основные принципы и техника эксперимента: Пер. с англ. / Под ред. И.И. Соболева // М.: Наука, 1985. 608 с.
9. Белостоцкий Б. Р., Любавский Ю. В., Овчинников В. М. Основы лазерной техники. Твердотельные ОКГ / Под ред. акад. А.М. Прохорова // М.: Наука, 1985. 608 с.

НИИ прикладной математики и механики,
Томск

Поступила в редакцию
5 марта 1994 г.

A. V. En'shin. Experimental Setup for Investigation of the Propagation Effects of Bimodal Laser Radiation in the Atmosphere.

The experimental setup to investigate the effects of scattering of bimodal radiation propagating in the atmosphere is described. The differential scheme realized as two optical branches, reference and operating ones, similar to interferometric measurements, is used as a basis of the concept of measurements. However, in contrast to the interferometry, the amplitudes of light waves but not the phases are compared. The measurements are accurate to not worse than within 0.5% of the values of detected signals.