

Научно- исследовательская работа

Физика

**ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКИЛЬСОНА С ЦИФРОВОЙ
РЕГИСТРАЦИЕЙ СТЕПЕНИ КОГЕРЕНТНОСТИ ИСТОЧНИКОВ
СВЕТА**

Выполнили:

Чубова-Белошникова Мария Максимовна

Учащаяся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Горьков Иван Александрович

Учащийся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Кузьмин Евгений Романович

Учащийся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Руководитель:

Ашурбеков Сефер Ашурбекович

Кандидат технических наук, доцент, педагог дополнительного образования

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Введение

Свет - это наша неотъемлемая часть жизни. Человек изобрел много источников света: стеариновые свечи, газовые рожки, керосиновые лампы, лампы накаливания, люминесцентные лампы. Все эти источники света предназначались для освещения. В этом ряду появился еще один источник света - лазер. Благодаря особым свойствам их излучений, лазеры находят всё расширяющееся применение в различных областях человеческой деятельности.

Пространственная и временная когерентность - важнейший параметр источников света, определяющий возможность их использования в приборах интерферометрии. Вместе с тем, нет компактных приборов измерения этой характеристики.

Представляется актуальным использование классического интерферометра Майкельсона с компактным одночастотным лазером для измерения длины и времени когерентности источников света.

Применение интерферометра Майкельсона в технике весьма разнообразны. Он может быть использован для дистанционного контроля малых деформаций. Существенное применение интерферометра состоит в использовании этой схемы в оптических гироскопах для контроля сдвига интерференционной полосы, порожденного вращением.

Цель настоящей работы состоит в исследовании возможности применения интерферометра Майкельсона с малогабаритным одночастотным лазером 532 нм для измерения длины и времени когерентности источников света.

Задачи:

1. Собрать и исследовать одночастотный лазер с диодной накачкой на ванадате и с удвоением частоты.

2. Проектировать и собрать лазерный интерферометр Майкельсона с возможностью измерения видности интерференционной картины либо с помощью фотоэлектронного умножителя, либо ПЗС - камеры с последующей обработкой сигнала по компьютерной программе.

3. Измерить когерентность света нескольких лазеров.

В настоящее время лазеры применяются в биомедицине (офтальмология, онкология), в технологии обработки тугоплавких материалов (резка, сварка, закалка), в измерительной технике (измерение расстояний, толщины тонких пленок, длины волны и показателя преломления в голографии).

Применение лазеров основано на возможности сфокусировать когерентный свет в пятно мельчайших размеров (до долей микрона и единиц микрона) Поэтому весьма актуален вопрос разработки малогабаритных переносных приборов измерения когерентности источников света, в первую очередь лазеров. Промышленность не выпускает таких приборов.

В моей работе предложен и реализован метод измерения временной и пространственной когерентности лазерных источников по измерению видности интерференционной картины, получаемой по классической схеме интерферометра Майкельсона с использованием для регистрации ПЗС - камеры и компьютерных технологий

Основная часть

Принцип функционирования устройства основан на классической схеме интерферометра Майкельсона, когда исходная волна с помощью светоделительной призмы (Схема 1) расщепляется на два пучка, затем эти пучки сводятся на экране для наблюдения интерференции. Измерения видности картины $V_{(p)}$ в окрестности точки Р дает время когерентности $\tau_{\text{ког}}$ [3]. Длина когерентности $L = C_0 \tau_{\text{ког}}$, где C_0 - скорость света в вакууме.

$$V_{(P)} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = |\gamma_{p,\tau}|$$

I_{\max} - максимальная интенсивность светлой полосы;

I_{\min} - минимальная интенсивность темной полосы в окрестности точки Р;

$|\gamma_{p,\tau}|$ - модуль степени временной когерентности.

Если волна обладает полной пространственной когерентностью, то $I_{\min} = 0$ и, следовательно, видность полос $V_{(p)} = 1$. Когда две волны полностью некоррелированы (т.е. некогерентны), полосы исчезают (т.е. имеем $I_{\max} = I_{\min}$). Таким образом, видность полос $V_{(p)} = 0$. Следовательно, измерение видности интерференционных полос позволяет получить степень временной когерентности волны в точке Р. Если функция $|\gamma_p|$ известна, то компьютерная программа просчитывает время когерентности $\tau_{\text{ког}}$. Заметим, что длина когерентности $L = C_0 \tau_{\text{ког}}$ равна удвоенной разности $L_1 - L_2$ между длинами плеч интерферометра, при которой значение видности спадает до значения $V_{(p)} = \frac{1}{2}$

В качестве эталонного источника света для интерферометра собран и исследован одночастотный лазер на ванадате с диодной накачкой и удвоением частоты.

В Приложении 2, 3 приведены фотографии структуры лазерного пятна в фокусе метровой линзы (расходимость 0.566 /0.552 мрад) и непосредственно на выходе лазера без фокусирующей линзы (диаметр пучка 1.14 /1.18 мм). Спектр излучения, зарегистрированный на экране компьютера спектрофотометром, показывает, что лазер генерирует одну продольную моду, т.е. является одночастотным (Приложение 4). Мощность лазера на длине волны 532 нм 22 мВт.

Степень поляризации более 300:1. Эллиптичность пучка 0.96. Уровень шумов излучения (10Гц - 20 мГц) менее 0,5%. Диапазон рабочих температур 15-50°C.

Пространственная когерентность лазерного пучка, измеренная несколькими методами, в то числе с помощью интерферометра Майкельсона, более 20 метров.

Функциональная схема интерферометра Майкельсона приведена в Приложении 1.

Когерентный пучок света от лазера (1) призмой полного внутреннего отражения (4) направляется на расщепитель пучка (призма - куб) (5). Один пучок света проходит через призму в направлении пучка лазера, отражается от неподвижного плоского зеркала M_2 , возвращаясь в призму, отражается от нее и идет на экран (7). Далее через отверстие в нем попадает либо на экран ПЗС - камеры, либо на фотоэлектронный умножитель для измерения интенсивности света в центре темной и светлой полос. Другой пучок отражается от призмы и идет под прямым углом к первоначальному лучу лазера - к другому подвижному плоскому зеркалу M_1 , отражается от него, возвращаясь в призму, проходит ее и идет на экран. На экране накладываются две когерентные волны от одного и того же источника интерферируют. Компьютерная обработка сигнала с ПЗС - камеры

позволяет измерить видность интерференционной картины, а также время и длину когерентности.

Подвижное зеркало M_1 имеет механизм точной юстировки. Задача юстировки - точно соединить отраженные от зеркал M_1 и M_2 , пучки на призме - делителе и пустить их по одной оптической оси на экран. Только тогда интерференционная картина будет иметь максимальную видность. Если юстировка выполнена некачественно или пучок плохо сфокусирован (имеет большую угловую расходимость), получение четкой интерференционной картины будет затруднено.

В работе выполнены фотографии интерференционных картин от когерентных и частично когерентных лазеров в различных условиях эксперимента (Приложение 5).

В начале эксперимента расстояние до зеркал M_1 и M_2 , устанавливается одинаковым. Наблюдаем четкую интерференционную картину с максимальной видностью. Затем сдвигаем подвижное зеркало M_1 на 2 см. При этом разность хода пучков изменится на 4 см. Подстраиваем интерферометр до получения качественной интерференционной картины и опять измеряем видность картины, она немного уменьшится. Сдвинув зеркало несколько раз, проводим измерения видности до исчезновения интерференционной картины, когда разность хода оказывается больше длины когерентности лазера.

В нашей работе исследовалась когерентность различных лазеров, включая китайские лазерные указки. Наибольшая когерентность света наблюдалась в лазерах с эталоном Фабри - Перо, обеспечивающих одночастотный режим. Это исследованный нами одночастотный лазер с диодной накачкой с удвоением частоты. Длина когерентности 20 м.

Для газовых лазеров без эталона длина когерентности определяется длиной резонатора. Для использованного в работе He - Ne - лазера (длина резонатора 1 м) длина когерентности составила 11 см.

Наименьшая степень когерентности имели полупроводниковые лазеры и лазерные диоды в силу особого механизма генерации и относительно большой угловой расходимости пучка.

Измеренные значения длины когерентности составили:

- для многомодового He - Ne - лазера - 0,11 м; -
- для одномодового твердотельного лазера с диодной накачкой - 1,5 м (532нм); -
- для одночастотного твердотельного лазера (532нм) - более 20 м.

Степень временной и пространственной когерентности - важнейший параметр лазера точки зрения его применения в голографической интерферометрии, в лазерной спектроскопии в решении многих прикладных задач оптической измерительной техники. Однако отсутствуют компактные приборы прямого измерения когерентности света.

Заключение

Полученные результаты проекта:

- Собран и исследован непрерывный одночастотный лазер на 532 нм с расходимостью 0.56 мрадиан и диаметром пятна на выходе лазера 1.15 мм при мощности 20 мВт. Амплитуда шумов менее 0.5%.
- Отработана методика измерения видности интерференционной картины, полученной по классической схеме интерферометра Майкельсона, с применением ПЗС - камеры и компьютерных технологий.
- Измерены значения времени и длины когерентности для многомодового He-Ne-лазера (длина когерентности 0,11 нм):
 - для одномодового твердотельного лазера с диодной накачкой - 1,5 м (532 нм);
 - для одночастотного твердотельного лазера 532 нм - более 20 м.

- Разработан действующий макет лазерного интерферометра для измерения когерентности света.

Все это делает весьма актуальным продолжение исследований в данном направлении с целью разработки промышленного варианта прибора для измерения когерентности света.

Список использованной литературы

1. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского, М.: Мир, 1990, с.558
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Физматлит, 2010, с.846
3. Рябухо В.П., Лякин Д.В. Эффекты продольной пространственной когерентности света в интерференционном эксперименте. Оптика и спектроскопия, 2005, т.48, В.2, с.309 - 320
4. Русинов М.М. Техническая оптика, 2017, с. 488 с.

Приложение 1

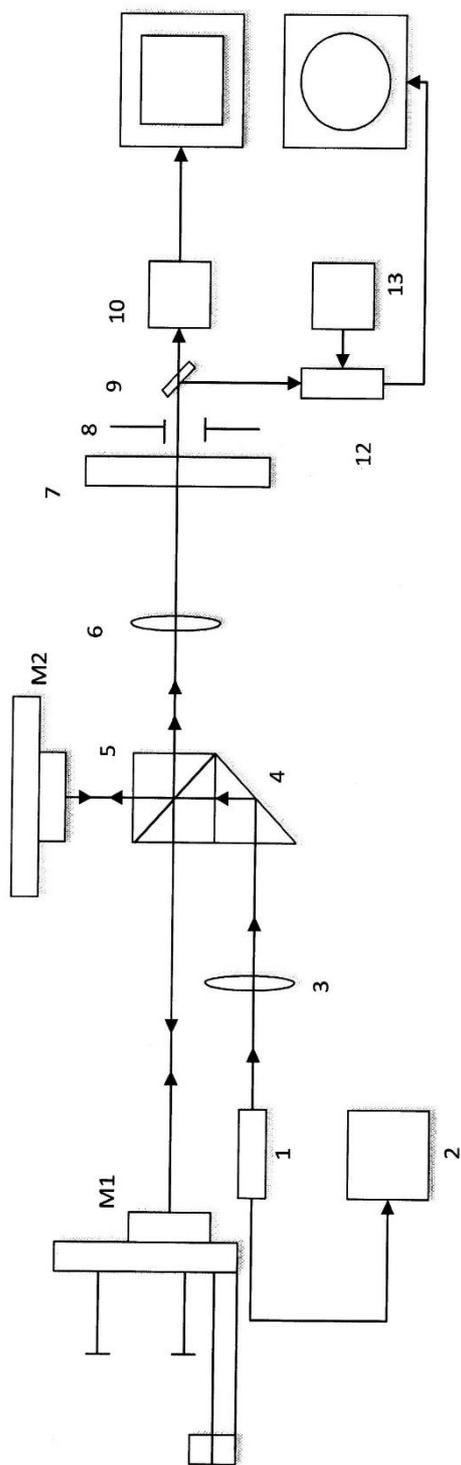


Рис. 1 Схема интерферометра Майкельсона для измерения когерентности источников света.

- 1 – лазер одночастотный с диодной накачкой (длина волны 532 нм, мощность 20 мВт)
- 2 – блок питания лазера на 5 В постоянного напряжения
- 3 – короткофокусная линза
- 4 – поворотная призма полного внутреннего отражения
- 5 – делитель лучка – призма – куб
- 6 – длиннофокусная линза с фокусным расстоянием 1 метр
- 7 – экран
- 8 – диафрагма
- 9 – полупрозрачная пластина

- 10 – цифровая ПЗС - камера
- 11 - компьютер
- 12 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)
- 13 – блок питания ФЭУ
- 14 - осциллограф
- M₁ – подвижное зеркало с отчетным устройством
- M₂ – неподвижное зеркало плоское

Приложение 2

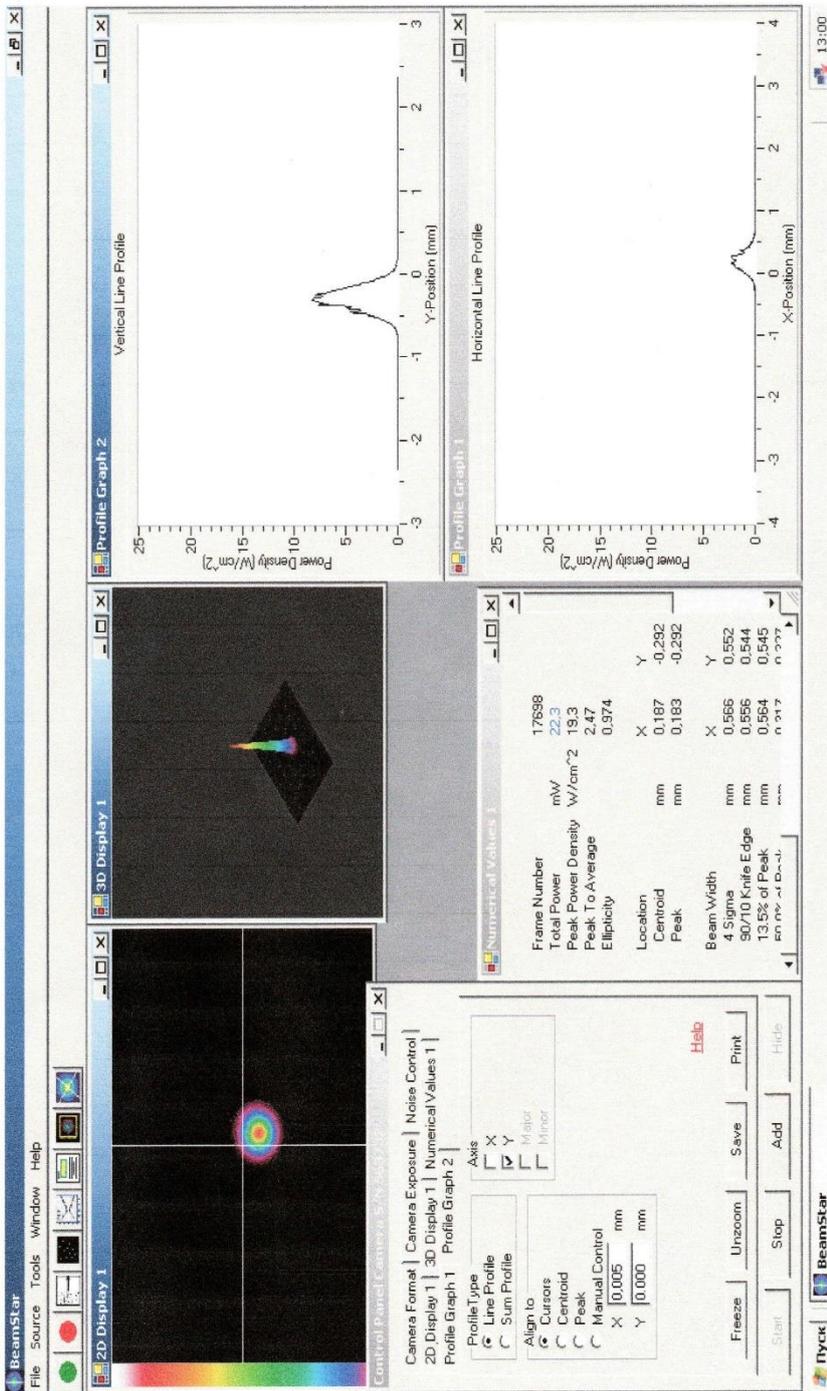


Рис. 2 Структура лазерного пятна в фокусе метровой линзы, полученная с помощью ПЗС – камеры на экране компьютера.

Приложение 3

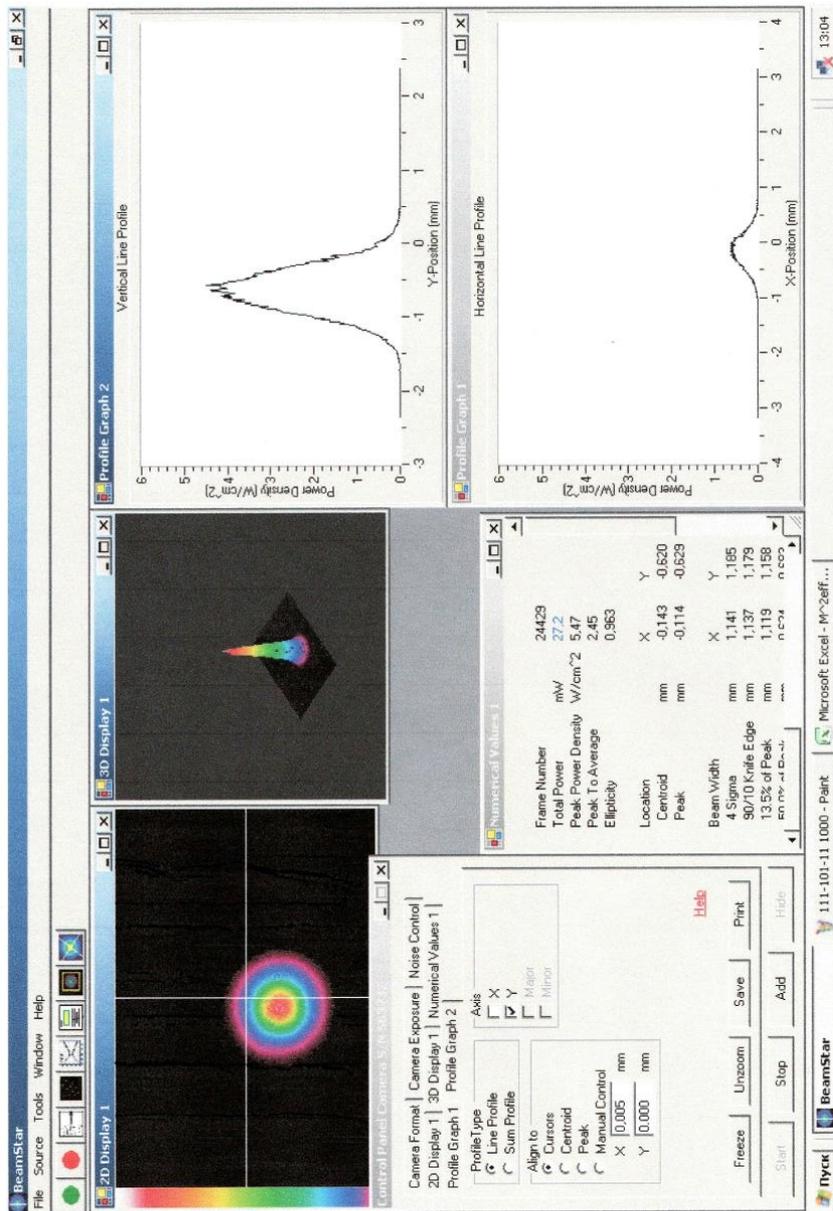


Рис. 3. Структура лазерного пучка на выходе, полученная с помощью ПЗС – камеры на экране компьютера

Приложение 4

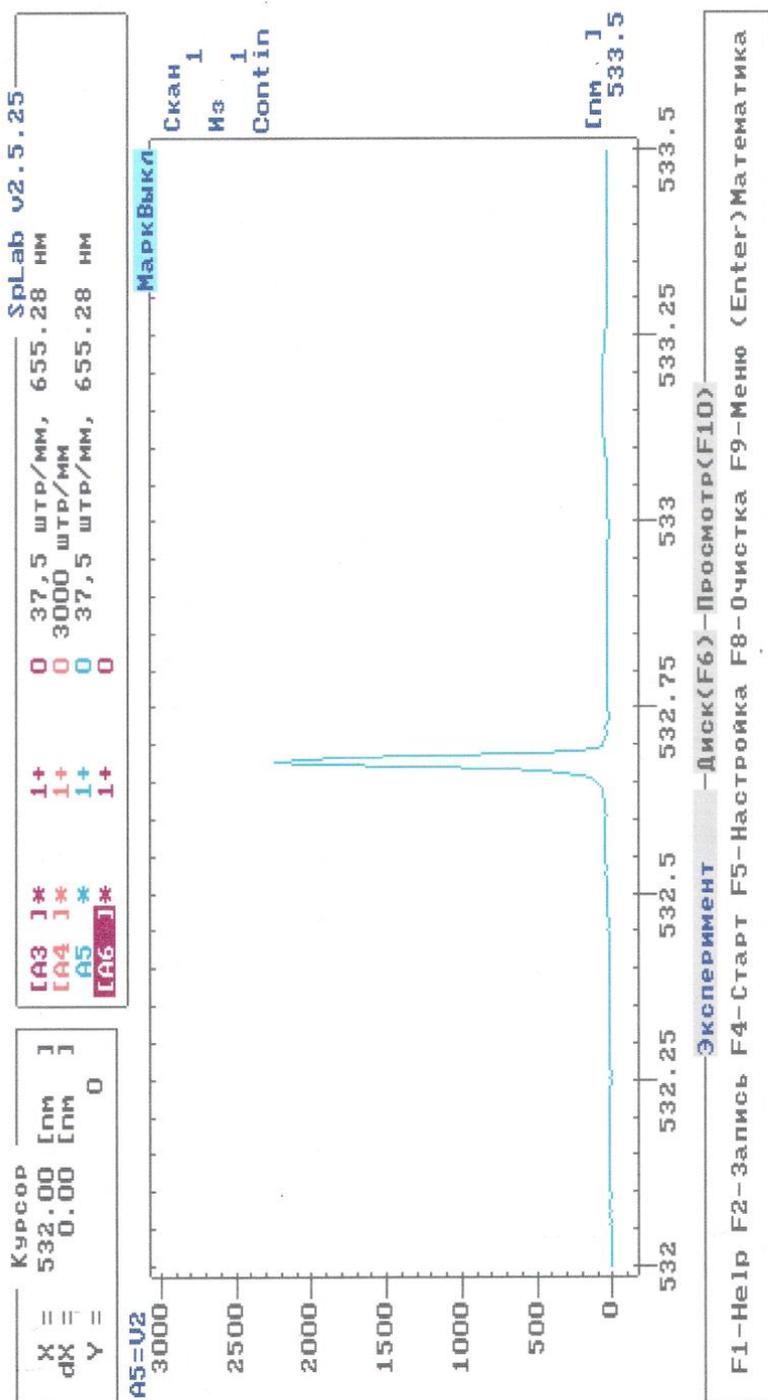


Рис. 4 Спектр излучения одночастотного лазера на ванадате с удвоением частоты. Длина волны 532 нм

Приложение 5

