

Научно-исследовательская работа

Физика

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЮСТИРОВКИ
ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ДИОНОЙ НАКАЧКОЙ НА ОСНОВНОЙ
И ВТОРОЙ ГАРМОНИКЕ**

Выполнили:

Лушин Артем Андреевич

Учащийся 11 класса

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

Кузьмин Илья Алексеевич

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

Бронницы

2022

Вступление

Использование лазеров в прикладных областях оптической предъявляет высокие требования как в геометрических параметрах излучения (угловой расходимости, диаметру пучка и его эллиптичности), так и пространственной и временной когерентности излучения. Вместе с тем отсутствуют приборы прямого измерения этих характеристик источников света. Поэтому в нашем проекте была поставлена цель – разработать инновационный стенд для сборки лазерных излучателей с диодной накачкой и цифрового измерения важнейших характеристик пучков (диаметра и угловой расходимости, эллиптичности, времени и длины когерентности излучения). В проекте реализованы методики измерения оптических характеристик лазера с применением ПЗС-камеры и компьютера для цифрового анализа и измерения профиля лазерного пучка. Инновационный стенд позволяет путем небольшой перестройки реализовать классическую схему интерферометра Майкельсона с цифровым анализом интерференционной картины и измерение её видности с применением ПЗС-камеры, что позволяет измерить время и длину когерентности. Полученные в работе экспериментальные результаты могут стать основой для разработки оптического прибора для измерения параметров лазерных излучателей, что имеет важное научно-техническое и прикладное значение.

Содержание

1. Анализ научной литературы по методам сборки и юстировки лазерных излучателей с диодной накачкой и измерения их оптических характеристик.
2. Постановка задачи исследования.
3. Проектирование инновационного лабораторного стенда для сборки диодных лазеров и измерения их характеристик путём цифрового анализа профиля лазерного пучка с применением ПЗС-камеры компьютера.
4. Отработка методики измерения диаметра пучка, угловой расходимости и эллиптичности по цифровому анализу профиля пучка с применением ПЗС-камеры.
5. Отработка методики измерения времени и длины когерентности лазерных пучков с применением интерферометра Майкельсона и ПЗС-камеры для цифровой обработки интерференционной картины.
6. Экспериментальные результаты исследования и их обсуждения.
7. Заключение. Научно-техническая и практическая ценность проекта.
8. Список литературы.
9. Приложения.

Введение

Актуальность. Использование лазеров в современных оптических приборах предъявляет высокие требования к геометрическим характеристикам излучения, к степени когерентности лазерных пучков. Однако промышленность не выпускает приборов прямого измерения характеристик. Поэтому проектирование инновационного стенда для сборки лазерных излучателей с диодной накачкой и цифрового измерения профиля пучков и

степи их когерентности представляется актуальным.

Цели и задачи проекта.

1. Разработать инновационный лабораторный стенд для сборки лазерных излучателей с диодной накачкой и удвоением частоты и цифрового измерения геометрических параметров пучка и степени когерентности с применением ПЗС-камеры и компьютера.

2. Реализовывать методику измерения диаметра пучка и угловой расходимости путём компьютерной обработки профиля пучка.

3. Реализовать методику измерения времени и длины когерентности лазерных пучков с применением интерферометра Майкельсона и ПЗС-камеры.

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.

Основная часть

В лазерной исследовательской лаборатории нашей школы проектирован и собран экспериментальный макет лабораторного стенда для сборки и юстировки твердотельных лазерных излучателей с диодной накачкой и удвоением частоты с помощью нелинейных кристаллов и цифрового измерения их оптических характеристик и степени когерентности с применением ГВС-камеры и компьютера. На стенде реализована классическая схема и интерферометра Майкельсона с цифровым анализом интерференционной картины с помощью ГВС-камеры и компьютера.

Функциональная схема технического стенда приведена на рис. 1.

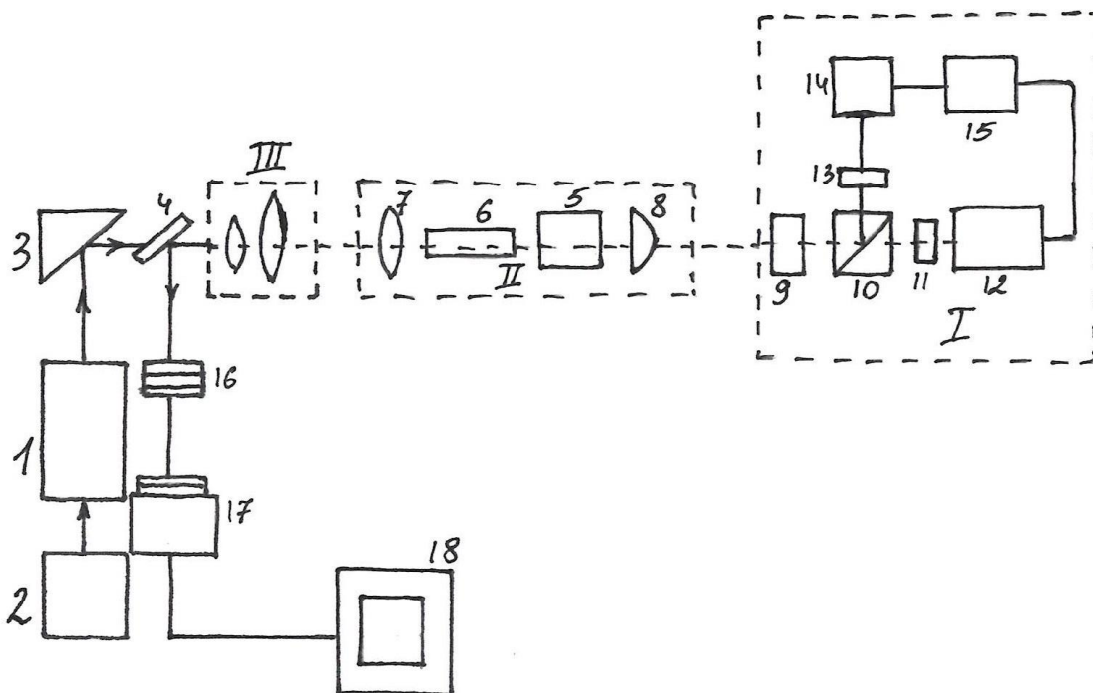


Рис. 1 Финальная функциональная схема лабораторного стенда для сборки лазерных излучателей измерения их оптических характеристик.

- 1 - постирочный лазер 532нм;
- 2 - блок питания постирочного лазера;
- 3 – призма;
- 4- полупрозрачная пластина для линии 532нм;
- 5 - кристалл ванадата (4*4*4мм);
- 6 - нелинейный кристалл для удвоения частоты;
- 7 - выходное зеркало резонатора;
- 8 - входное зеркало резонатора;
- 9 – объектив;
- 10 – призма – куб;
- 11 и 13 – конденсоры;
- 12 и 14 - полупроводниковые лазерные диоды накачки;

- 15 - стабилизированный источник питания 5В;
- 16 - набор нейтральных фильтров;
- 17 – ПЗС – камера;
- 18 – компьютер.

Конструктивно лазерный излучатель выполнен в комбинации корпуса осветителя, корпуса резонатора и корпуса телескопа. Корпуса осветителя и резонатора размещены на элементах Пельтье для стабилизации температуры активного элемента и лазерных диодов. В корпус осветителя установлены два полупроводниковых лазерных диодов, которые в небольших пределах могут перемещаться относительно конденсаторов. Излучение обоих диодов с помощью призмы-куба и объектива фокусируется на кристалл ванадата с примесью неодима (4×4×4 мм) в медной оправке, приклеенной к основанию корпуса резонатора. В корпусе резонатора установлены также зеркала резонатора в специальных оправках. Одно из них – входное с коэффициентом отражения 0,98 для линии второй гармонике 532 нм, второе – выходное с коэффициентом пропускания 0,4 – 0,6.

Нелинейный кристалл ниобата лития ориентирован вдоль оптической оси излучателя. Для юстировки используется вспомогательный лазер 532 нм с блоком питания и примой. Для цифрового анализа профиля пучка используется ПЗС-камера и компьютер.

Методика сборки и юстировки.

Включить питание юстировочного лазера и с помощью призмы направить зелёный луч лазера строго вдоль оптической оси на одной и той же высоте по нему отъюстировать платформу излучателя. Закрепить на платформе корпуса осветителя и резонатора. Отъюстировать оптические элементы осветителя.

Сначала найти правильное положение призмы-куба, чтобы отражённый от него пучок совпал с юстировочным лучом. Далее добиться симметричного креста от излучателя лазерных диодов в центре выходного отверстия, установить объектив и добиться фокусировки излучения накачки на активном элементе в корпусе резонатора. Далее отъюстировать и склеить зеркала резонатора и нелинейный кристалл. В последнюю очередь производится юстировка телескопа.

Измерение диаметра лазерного пучка на выходе и эллиптичности пятна. Для этого на стенде реализуется схема измерений, представленная на рисунке 2.

На выходе лазера (1) устанавливается набор нейтральных фильтров (3) для выбора линейного режима работы ПЗС-камеры (4). Расстояние от выходного торца излучателя до фоточувствительного слоя ПЗС-камеры 4-5 см. Добиться попадания пучка в центр мишени камеры, включить компьютер и программу цифрового анализа профиля лазерного пучка. Результаты измерения представлены на рисунке 4. Компьютер просчитывает все параметры лазерного пучка. Диаметр пучка на выходе 1, 2 мм. Эллиптичность 0, 963. Методика измерения угловой расходимости реализуется по схеме, представленной на рисунке 5. На выходе лазера (1) устанавливается собирающая линза (4) с фокусным расстоянием 1 м так, чтобы лазерный пучок проходил по главной оптической оси линзы (4) и на расстоянии 1 м в фокусе помещается ПЗС-камера, перед которой предварительно размещается набор нейтральных фильтров. Добиться попадания лазерного пучка в центр приемной площадки камеры. Включить компьютер и программу цифрового анализа профиля пучка. Результат цифрового анализа и профиль пучка представленный на рисунке 6. Угловая расходимость оказалась равной 0, 56 миллирадиан.

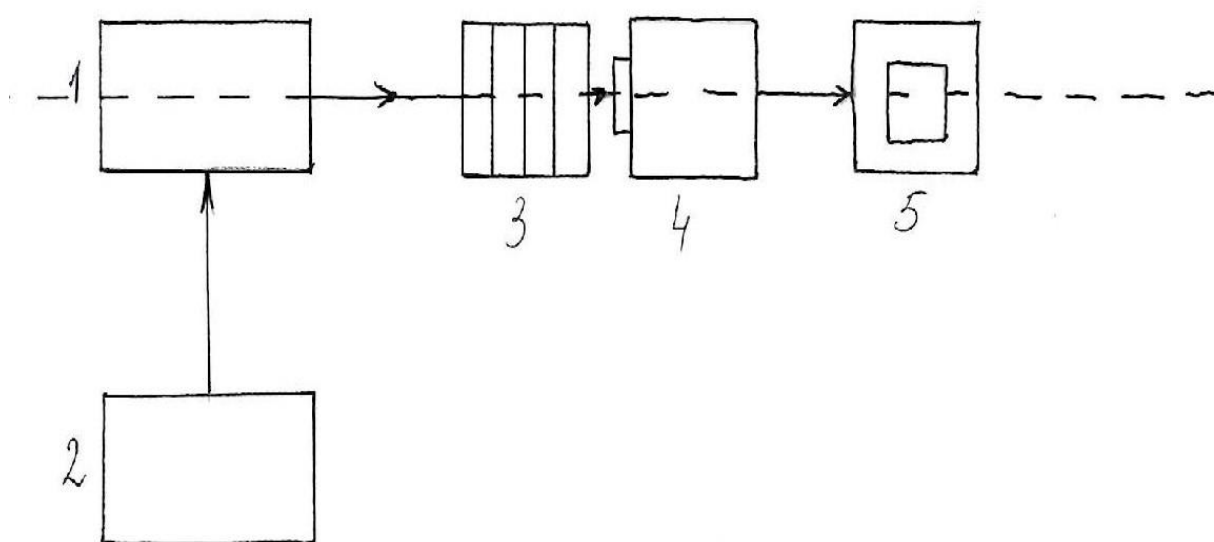


Рисунок 2. Схема измерения диаметра лазерного пучка и эллиптичности.

- 1 – лазерный излучатель;
- 2 - стабилизированный блок питания 5В;
- 3 – набор нейтральных фильтров;
- 4 – ПЗС-камера;
- 5 – компьютер.

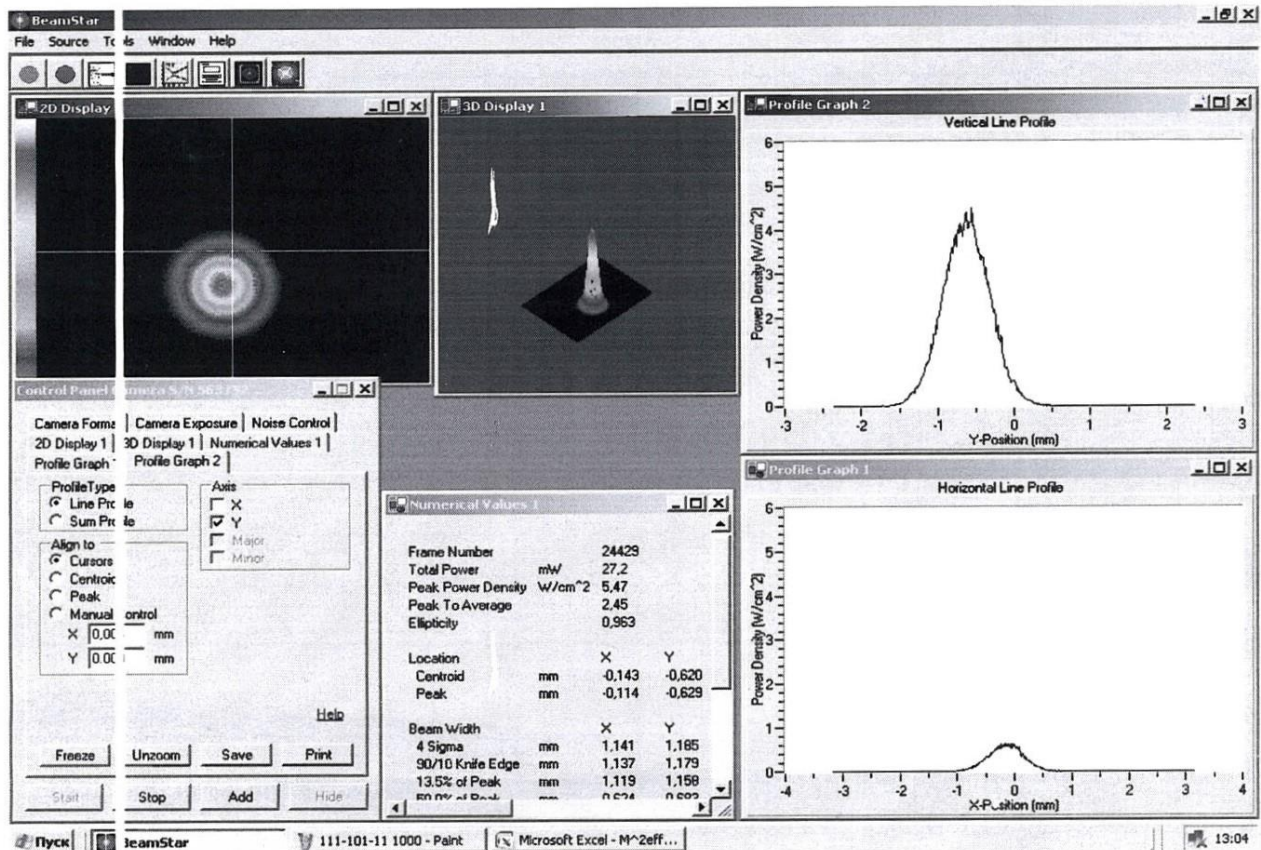


Рисунок 3. Профиль лазерного пучка на выходе лазера, полученный с применением ПЗС-камеры и компьютера.

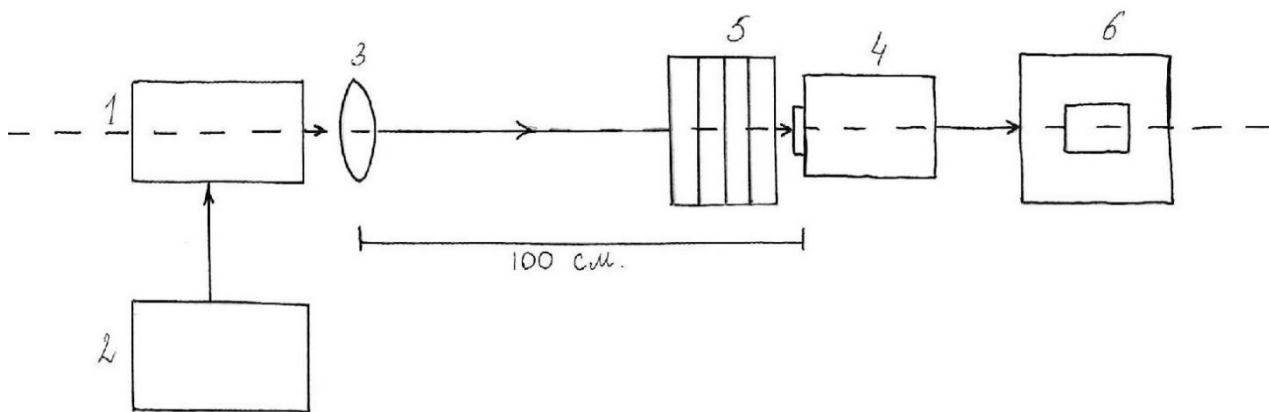


Рисунок 4. Схема измерения расходимости лазерного пучка.

- 1 – лазерный излучатель;
- 2 – стабилизированный блок питания 5 вольт;
- 3 – набор нейтральных фильтров;
- 4 – фокусирующая линза с фокусным расстоянием 1 м;
- 5 – ПЗС-камера;
- 6 – компьютер или ноутбук.

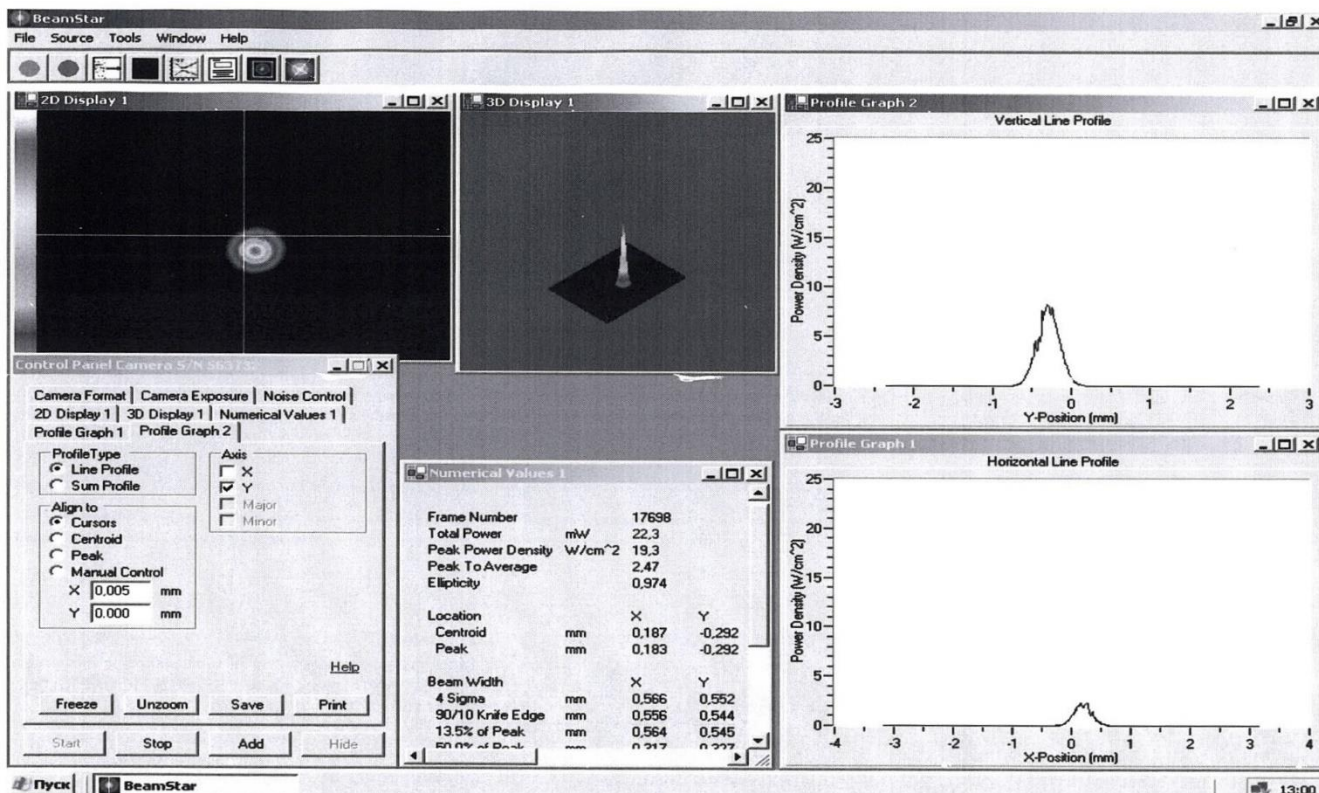


Рисунок 5. Профиль лазерного пучка в фокусе собирающей линзы с фокусным расстоянием 1 м.

Функциональная схема измерения когерентности лазерных пучков представлена на рис. 6.

В проекте выполнен цифровой анализ интерферограмм, полученных от когерентных и частично когерентных лазеров в условиях эксперимента.

Вначале плечи неподвижного и подвижного зеркал устанавливаются одинаковыми, наблюдают четкую интерференционную картину с максимальной видностью. Затем, последовательно сдвигая подвижное зеркало несколько раз проводим измерение видности до исчезновения интерференционной картины, когда разность хода оказывается больше длины когерентности лазера.

Исследовалась когерентность различных лазеров, включая доступные на рынке лазерные указки. Наибольшая когерентность наблюдается в лазерах с эталоном Фабри-Перо, обеспечивающих одночастотный режим. Длина когерентности собранного нами лазера на ванадате с диодной накачкой оказалось равной 3 м.

Наименьшую длину когерентности имели доступные на рынке указки производства китайских компаний и полупроводниковые лазерные диоды в силу особого механизма генерации и относительно большой угловой расходимости. Когерентный пучок света от лазера 1 направляется на призму-куб 3, один пучок проходит через призму в направлении неподвижного зеркала 4, отражается от него, возвращается в призму, отражается от неё и направляется на экран 8. Другой пучок отражается от призмы-куба и идёт под прямым углом в направлении неподвижного зеркала 5, отражается от него, проходит призму-куб и попадает на экран. На экране накладываются две когерентные волны от одного и того же источника, прошедшие разные оптические пути, и интерферируют. Видность интерференционной картины:

$$V(P) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = |Y_{pr}|$$

I_{max} – максимальная интенсивность светлой полосы.

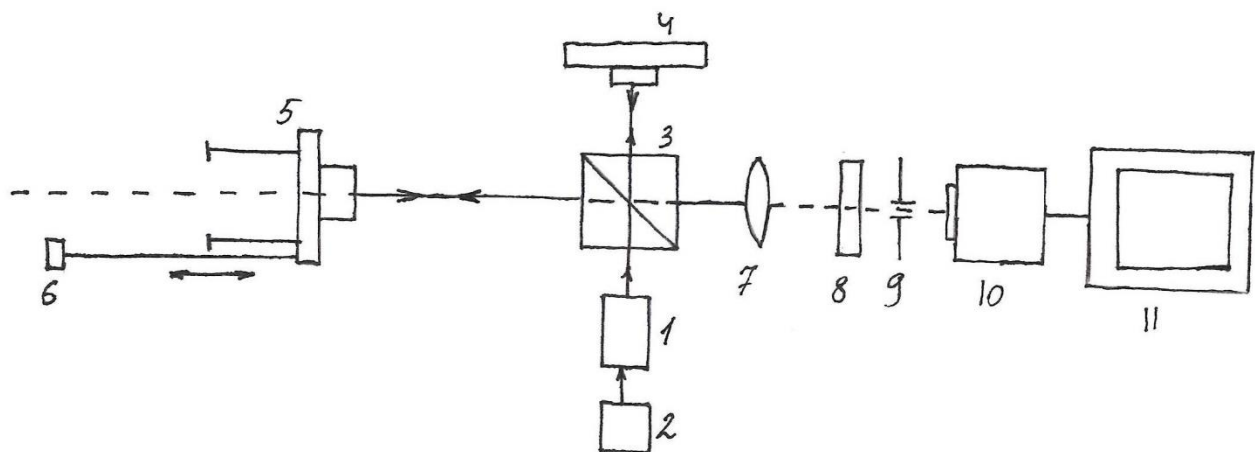


Рисунок 6. Функциональная схема измерения когерентности лазерных пучков

1 – лазер с диодной накачкой;

2 – стабилизированный блок питания 5В;

3 – призма-куб;

4 – неподвижное плоское зеркало;

5 – подвижное плоское зеркало;

6 – устройство для плавного перемещения зеркала по оптической оси с микрометрическим винтом;

7 – длиннофокусное линза;

8 – экран для предварительного визуального наблюдения за интерференционной картины;

9 – диафрагма;

10 – ПЗС-камера;

11 – компьютер;

12 – набор нейтральных фильтров;

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

$|Y_{pr}|$ - модуль степени времени когерентности.

После получения на экране четкой интерференционной картины экран 8 убирается картина с помощью длиннофокусной линзы 7 проектируется на фотомишень ПЗС-камеры. Компьютерная обработка сигнала с ПЗС-камеры

позволяет измерить видность интерференционной картины, которая равно степени временной когерентности, длину когерентности определяют по формуле:

$L = c_0 t_{kc}$, где c_0 – скорость света в вакууме, t_{kc} – время когерентности.

Заключение

Разработан действующий макет лазерного интерферометра для измерения когерентности световых пучков. Лабораторный стенд позволяет выполнить исследовательские проекты по лазерной физике, собирать лазеры с диодной накачкой с заданными параметрами и исследовать их с применением цифровых технологий и использованием ПЗС-камеры и компьютера. Лабораторный стенд позволяет также собрать на его основе ряд учебно-исследовательских лабораторных работ для учащихся и студентов и высших образовательных учреждений.

Список литературы.

1. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского. М.: Мир, 1990, с.558
2. Тарасов Л. В. Физика лазера. изд 5-е, – М.: Ленад, 22017, 456 с.
3. Русинов М.М. Техническая оптика 2017., 438 с.
4. Пойзнер Б.И. Физические основы лазерной техники. Учебное пособие, Инфра – М, 2017
5. Рябухо В. П. Мякин Д. В. Эффекты продольной пространственной когерентности света в интерференционном эксперименте. Оптика и спектроскопия, 2005, Т.48, В.3, с. 309–320.