

Научно-исследовательская работа

Физика

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧЕБНО-НАУЧНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ: «ОДНОМОДОВЫЙ ВАНАДАТНЫЙ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ ДЛЯ ПРИБОРОВ ФОТониКИ»**

*Выполнили:*

***Топин Денис Русланович***

*Ученики 11 А класса*

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

***Шехавцов Дмитрий Олегович***

*Ученики 11 А класса*

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

*Руководитель:*

***Соловьёва Наталья Сергеевна***

*Учитель физики и математики*

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

Бронницы

2022

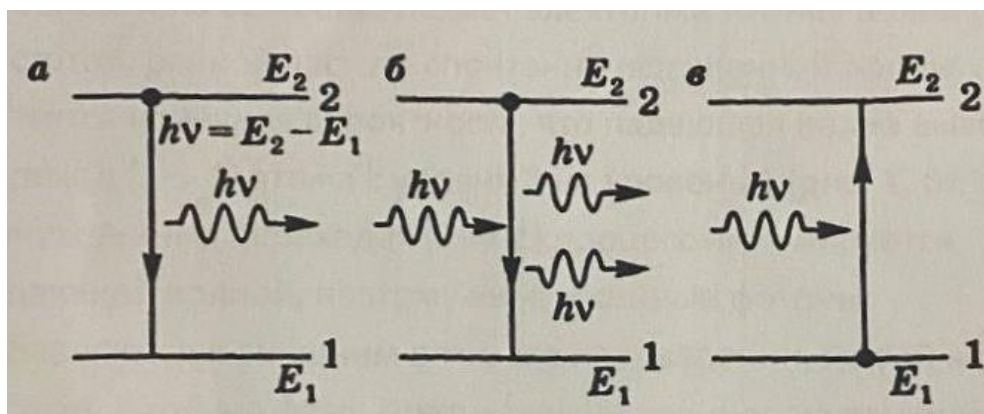
Цель работы: а) ознакомление с конструкцией и элементами твёрдотельного лазерного излучателя на кристалле ванадата с накачкой двумя лазерными полупроводниковыми диодами;

б) изучение лабораторного стенда для сборки и юстировки лазерных систем, получение представлений о методах и устройствах, предназначенных для юстировки излучателей;

в) привитие практических навыков сборки и юстировки твёрдотельных лазеров.

### Краткие сведения из теории.

В лазере используется три фундаментальных явления, происходящих при взаимодействии электромагнитных волн с веществом, а именно процессы спонтанного и вынужденного излучения и процесс поглощения [1-3].



### Спонтанные излучения.

Рассмотрим в некоторой среде два энергетических уровня 1 и 2 с энергиями  $E_1$  и  $E_2$ . Примем уровень 1 за основной (рис. 1, а). Пусть атом или молекула находится первоначально в состоянии, соответствующем уровню 2. Поскольку, частица будет стремиться перейти на уровень 1. Из атома должна выделиться энергия. Когда эта энергия выделяется в виде электромагнитной волны, процесс называется спонтанным излучением. При этом, частота излучённой волны определяется формулой Планка  $h\nu = E_2 - E_1$ , где  $h$  - постоянная Планка.

При спонтанных переходах различные частицы излучают не одновременно и независимо друг от друга. Поэтому фазы излучаемых фотонов никак не связаны

друг с другом. Частота излучения также колеблется в некоторых пределах и излучение происходит по всевозможным направлениям. Поэтому спонтанное излучение не направлено, не монохроматично, некогерентно.

### **Вынужденные излучения.**

Предположим снова, что атом первоначально находится на уровне 2 и на вещество падает электромагнитная волна с частотой, равной частоте спонтанно испущенной волны. Имеется конечная вероятность, что падающая волна вызовет переход ( $2 \rightarrow 1$ ) атома с уровня 2 на уровень 1 (рис.1, б). При вынужденных переходах ( $2 \rightarrow 1$ ) процесс инициируется падающей волной, поэтому вынужденные фотоны добавляются к внешним в том же направлении, на той же частоте, в той же фазе. Поэтому вынужденное излучение направлено, монохроматично, поляризовано, когерентно.

### **Поглощение.**

Предположим, что атом первоначально находится на уровне 1. Если это основной уровень, то атом будет оставаться на нём до тех пор, пока на него не подействует внешнее возмущение. Пусть частота падающей волны  $\nu$ , тогда существует конечная вероятность того, что атом перейдёт на верхний уровень 2. Разность энергий берётся из энергии падающей волны. Это процесс поглощения. Число частиц в единице объёма на данном энергетическом уровне 1 называют населённостью уровня 1 и обозначают  $N_1$ . В случае термодинамического равновесия среда будет поглощающей. Если удастся достигнуть неравновесного состояния, для которого  $N_2 > N_1$ , то среда будет действовать как усилитель. В этом случае говорят, что в среде существует инверсия населенности. Такую среду называют активной. Чтобы усилитель превратить в генератор, необходимо ввести положительную обратную связь. В лазере обратную связь обычно получают размещением активной среды между двумя зеркалами с высоким коэффициентом отражения. Когда в среде будет достигнута критическая инверсия (достаточная для компенсации реальных потерь излучения на зеркалах и в активной среде) генерация разовьётся из спонтанного излучения.

Конструктивные особенности твердотельного лазерного излучателя с диодной накачкой и удвоением частоты.

Лазерный излучатель конструктивно состоит из трех корпусов, установленных на элементах Пельтье, последовательно друг за другом на основании платформы излучателя. В качестве источников накачки используются два полупроводниковых лазерных диода, установленных вместе с двумя конденсаторами, объективом и призмой-куб в корпусе осветителя. Лазерные диоды являются поставщиком энергии для достижения состояния инверсной населенности. Активный элемент зеркала резонатора и нелинейный кристалл размещены в корпусе резонатора. Активный элемент предназначен для создания инверсной населенности энергетических уровней, то есть такого состояния, когда число атомов, находящихся на верхнем. «рабочем» энергетическом уровне превышает число атомов, находящихся на нижнем лазерном уровне. Важнейший элемент любого лазера — резонатор, состоящий, как правило, из двух отражающих поверхностей, между которыми располагается активная среда. Отражающие поверхности могут представлять собой зеркала различной формы (плоские, сферические, параболические и др.), грани призм полного внутреннего отражения или границы раздела сред различными показателями преломления. Зеркала резонатора формируются путём нанесения многослойных отражающих диэлектрических покрытий на одну из отполированных поверхностей зеркала. Поверхность зеркала с отражающим покрытием называется «рабочей», одно из зеркал резонатора полностью отражающее свет, - «глухим». Зеркало, частично пропускающее излучение, называют выходным.

Основное назначение оптического резонатора — создание условий, при которых возникающее в активной среде излучение многократно проходя через её структуру, усиливается до уровня превышения имеющихся потерь. Следовательно, резонатор осуществляет положительную обратную связь. Кроме того, резонатор обеспечивает спектральную селекцию излучения. Самым простым и наиболее распространённым видом резонатора является система из

двух плоских зеркал, обращённых друг к другу отражающими поверхностями, называемая эталоном Фабри-Перо.

Юстировка оптических систем заключается в регулировании взаимного расположения оптических деталей (линз, призм, зеркал и т.п.) с целью их центрирования и обеспечения наилучшего качества изображения. В отъюстированном положении зеркала, оптические детали закрепляются винтами или склеиваются.

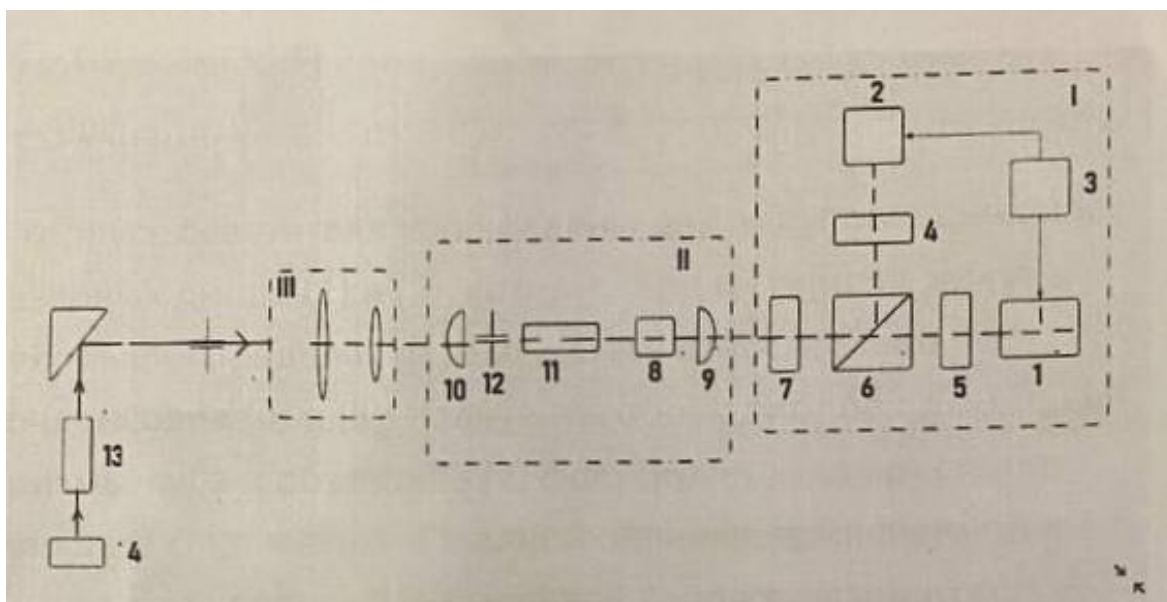
Перед выполнением настоящей лабораторной работы необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями по литературе [1-6].

Описание экспериментального стенда

Функциональная схема лабораторного стенда для сборки и юстировки лазерных излучателей с диодной накачкой приведена на рисунке 1.1.

Активный элемент юстируемого лазера изготовлен из кристалла ванадата, активированного ионами неодима. Генерация излучения осуществляется на длине волны 1064 мкм, а после удвоения частоты с помощью нелинейного кристалла ниобата лития 532 нм. В качестве вспомогательного юстировочного лазера используется в низкоомный лазер на ванадате с удвоением частоты 532 нм, мощностью непрерывного излучения 1 милливатт.

Все юстируемые компоненты твердотельного лазера размещены в специальных оптико-механических узлах – так называемых подвижках, устройство которых позволяет проводить как линейные, так и угловые перемещения.



*Рис.1.1 Функциональная схема инновационного стенда для сборки и юстировки лазерных излучателей с диодной накачкой.*

1, 2- полупроводниковые лазерные диоды накачки;

3 - стабилизированный блок питания 5V;

4, 5 — конденсоры;

6 — призма-куб;

7 - объектив;

8 - кристалл ванадата с 4x4x4 мм;

9 - входное зеркало резонатора;

10 - выходное зеркало резонатора;

11 - нелинейный кристалл ниобата натрия;

12 - диафрагма;

I, II, III - соответственно корпуса осветителя, резонатора, телескопа;

13 - юстировочный лазер (532 нм, 1 мВт);

14 - блок питания 5V;

15 - призма;

В корпусе осветителя установлены два полупроводниковых лазерных диода (1) и (2), которые при юстировке могут в небольших пределах перемещаться относительно конденсоров (4) и (5). Излучение обоих диодов с помощью призмы-куба и объектива (7) фокусируется на кристалле ванадата с примесью в медной оправке, приклеенной к основанию корпуса резонатора. В корпусе резонатора установлены также зеркала резонатора в специальных оправках. Одно из зеркал (9) - входное с коэффициентом отражения 0.98 для линии второй гармоники, второе полупрозрачное с коэффициентом 0,4 - 0,6. Нелинейный кристалл ниобата лития (11) ориентирован вдоль оптической оси излучателя. Диафрагма (12) позволяет отсекалть поперечные моды резонатора более высоких порядков.

Двухкомпонентный телескоп предназначен для формирования необходимых геометрических параметров лазерного пучка - диаметра пучка на выходе лазера его угловой расходимости.

Методика сборки и юстировки.

1. Получить от преподавателя разъяснения об особенностях выполнения данного задания. Включить питание юстировочного лазера (13) (532 нм) и с помощью призмы (15) и диафрагмы (16) направить зелёный луч лазера строго в направлении оптической оси стенда на одной и той же высоте по нему отъюстировать платформу излучателя перпендикулярно юстировочному лучу. При этом отражённые лучи от плоскопараллельной пластины, прижатой к платформе излучателя, должны попадать в отверстие диафрагмы (16).
2. Закрепить на платформе корпуса осветителя и резонатора.
3. Отъюстировать оптические элементы осветителя. Сначала найти правильное положение призмы-куба, чтобы отраженный от него пучок попал в отверстие диафрагмы (16). Далее в отверстие диафрагмы с лазерными диодами (1) и (2) добиться правильного креста в центре

- выходного отверстия, установить объектив и добиться фокусировки излучения на выходное окно активного элемента (8).
4. Отъюстировать лазерный резонатор. Входные и выходные зеркала в оправках с помощью специальных подвижек опускают в корпус резонатора так, чтобы отраженные от них лучи собирались в центре экрана (16).
  5. Опустить на платформу резонатора нелинейный кристалл (11), предварительно смазав одну грань теплопроводящим клеем, ориентировать его вдоль оптической оси. При правильной и точной юстировки мгновенно возникает генерация на второй гармонике 532 нм и корпус резонатора заполнится зелёным светом.
  6. В последнюю очередь производится юстировка телескопа.
  7. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

#### **Список использованной литературы.**

1. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского. –М., Мир, 1990, 558 с.
2. Ландсберг Г. С. Оптика. — М., Физматлит, 2010, 848 с.
3. Тарасов Л. В. Физика лазера. Изд. 5-е. — М., Ленанд, 2017, 456 с.
4. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Лазерная физика». Учебно-методическое пособие. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, 64 с.
5. Митрофанов А. С. Принципы усиления оптического, излучения. Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2005, 112 с.