

Научно-исследовательская работа

Физика

Малогабаритный модуль активного резонатора на $YVO_4:Nd^{3+}$ для изучения принципа работы лазера в профильной школе.

Выполнили:

Ежов Андрей Андреевич,

Ежова Анастасия Андреевна,

обучающиеся 10^а класса

МАОУ СОШ №2 имени Н. А. Тимофеева,

Россия, г. о. Бронницы

Руководитель:

Ашурбеков Сефер Ашурбекович,

педагог дополнительного образования,

кандидат технических наук, доцент,

МАОУ СОШ №2 имени Н. А. Тимофеева,

Россия, г. о. Бронницы

Бронницы

2024г.

Оглавление

Введение

Теоретическая часть

1. История изобретения лазера.
2. Энергетические уровни атомов.
3. Спонтанное и вынужденное излучение.
4. Основные понятия - активная среда, инверсная населенность, усиление и генерация.
5. Устройство лазера.
 - 5.1. Функциональная схема.
 - 5.2. Изучаемые темы.
6. Практическая часть.

Заключение

Литература

Введение

Лазерная тематика обладает огромным научным, технологическим и методическим потенциалом, она очень интересует школьников ввиду большого количества информации вокруг этой темы, связанной с уникальными свойствами лазерного пучка и многочисленными применениями лазеров в различных областях науки и техники, включая информационный и оборотный секторы, медицину, связь, промышленные технологии.

Школьная программа выделяет малое количество часов на тему «Лазеры», упуская многие важные темы, как базовые, так и более углублённые. Изучение лазерной физики на уроках дополнительного образования предоставит возможность школьникам изучить теорию более углублённо и применить её на практике с помощью сборки лазерных наборов и их юстировки. Так как лазеры актуальны во многих сферах жизни, ученикам пригодятся их знания и умения в жизненном опыте, а также помогут определить желание связать свою профессию с лазерными технологиями. Наборы, спроектированные нами уникальны содержанием лазеров на модульной конструкции, состоящей из корпуса осветителя, корпуса накачки и корпуса резонатора.

По окончании курса дополнительного образования выпускники будут иметь базовые знания по лазерной физике и практические навыки работы на лазерных установках, что позволит им успешнее обучаться по программам среднего и высшего образования с направлением «Лазерная техника и лазерные технологии». В настоящей работе была поставлена следующая задача:
Проектирование лазерного образовательного набора модульной конструкции для изучения принципа работы лазера, а также спонтанного и вынужденного излучения.

Теоретическая часть:

1. История изобретения лазера.

Слово лазер образовано из начальных букв английских слов: light amplification by stimulated emission of radiation - усиление света за счёт вынужденного излучения.

Впервые понятие о вынужденном излучении в физику ввёл в 1916 году Альберт Эйнштейн, а первая генерация лазерного излучения на кристалле рубина с примесью ионов хрома Cr^{3+} была получена американским физиком Теодором Майманом в 1960 году.

2. Энергетические уровни атома.

Из курса физики средней школы известно, что классическая теория электромагнитных волн не в состоянии объяснить законы фотоэффекта. Серьёзный сбой классическая физика даёт и в объяснении теплового излучения нагретых тел. Классическая физика утверждает, что при всяком ускоренном движении заряженных частиц происходит излучение электромагнитных волн. В атомах и ионах электроны совершают циклические движения вокруг ядра. Это значит, что при криволинейном движении, обладая центростремительным ускорением, согласно классической теории, они должны непрерывно излучать энергию. А так как запас внутренней энергии атома конечен, то через некоторое время электроны должны были бы упасть на ядро. Однако в реальности этого не происходит. Атомы, ионы, молекулы - весьма устойчивые микрочастицы. Пришлось признать, что внутри атомов перестают действовать законы классической физики. Микромир подчиняется совсем другим законам. Первый прорыв в познании законов микромира принадлежит великому датскому физическому Нильсу Бору. Он предложил два постулата, расходящиеся по смыслу с классической механикой и электродинамикой, но позволяющие описать явления, происходящие в атоме. Это было сделано на примере простейшего из атомов - атоме водорода.

Первый постулат Бора гласит, что всякий атом может находиться не во всех состояниях, с любым наперёд заданным значением энергии. А возможен лишь дискретный набор избранных состояний, называемых стационарными, в которых энергия атома принимает значения $E_1, E_2, \dots, E_n, \dots$. Находясь в стационарном

состоянии, атом не излучает электромагнитные волны. Значения разрешённого набора $E_1, E_2, \dots E_n, \dots$ называются уровнями энергии атома.

Второй постулат Бора утверждает, что, если атом переходит из стационарного состояния с большей энергией E_n в стационарное состояние с меньшей энергией E_k , то разность этих энергий может высвободиться в виде излучения. В этом случае излучается фотон с энергией

$$h\nu = E_n - E_k$$

Эта формула работает и при поглощении света: в результате столкновения с фотоном атом переходит из состояния E_c в состояние с большей энергией E_n , а фотон при этом исчезает.

В общем случае атом всегда стремится к состоянию минимальной энергии.

3. Спонтанное и вынужденное излучение.

Рассмотрим в некоторой среде два энергетических уровня 1 и 2 с энергиями E_2 и E_1 ($E_2 > E_1$). Предположим, что атом (или ион, молекула) вещества находится первоначально в состоянии, соответствующем уровню 2. (рис. 3.1.)

Поскольку $E_2 > E_1$, атом будет стремиться перейти на уровень 1.

Следовательно, из атома должна выделиться соответствующая разность энергий $E_2 - E_1$. Когда эта энергия высвобождается в виде электромагнитной волны, процесс называют спонтанным излучением. При этом частота ν излученной волны определяется формулой Планка

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h},$$

- где h постоянная Планка. Таким образом, спонтанное излучение характеризуется испусканием фотона с энергией $h\nu = E_2 - E_1$ при переходе атома с уровня 2 на уровень 1. Переход может происходить и безызлучательным путём. При спонтанных переходах различные частицы излучают неодновременно, то есть в различные моменты времени, поэтому фазы излучаемых фотонов никак не связаны, и больше того, направление распространения и поляризации фотонов носит случайный характер, а частота излучения колеблется в некоторых пределах, определяемых «соотношением неопределённости» Гейзенберга. Поэтому спонтанное излучение не направлено, не поляризовано, не монохроматично, не когерентно.

Предположим снова, что атом первоначально находится на уровне 2 и на вещество падает электромагнитная волна с частотой ν , определяемой выражением (3.1). Поскольку частоты падающей волны и волны излучения, связанного с атомным переходом, равны друг другу, появляется вероятность того, что падающая волна вызовет переход (2→1) атома с уровня 2 на уровень 1. При этом разность энергий $E_2 - E_1$ выделится в виде электромагнитной волны, которая добавится к падающей.

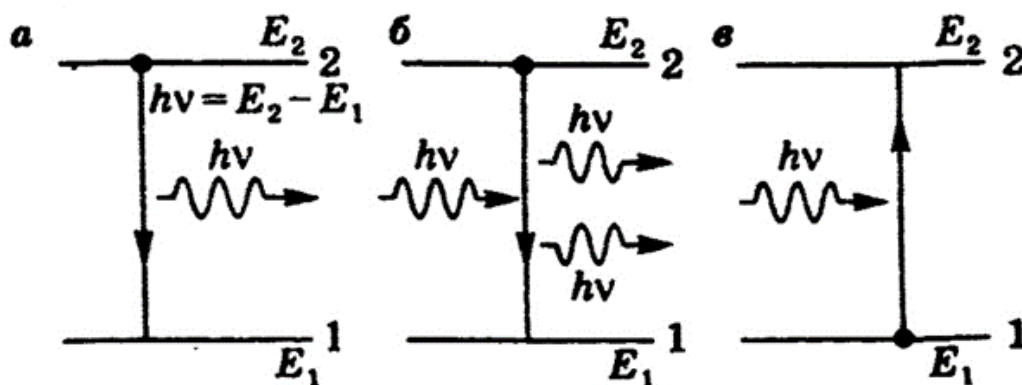


Рисунок 3.1. Схематическое представление трех процессов: (а – спонтанного излучения; б – вынужденного излучения; в – поглощение)

Это и есть явление вынужденного излучения. В случае вынужденного излучения, поскольку процесс инициируется падающей волной, излучение любого атома добавляется к этой волне в той же фазе. Падающая волна определяет также направление распространения испущенной волны.

Предположим теперь, 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 на вещество падает электромагнитная волна с частотой ν , определяемой выражением (3.1). Появляется вероятность того, что атом перейдёт на верхний уровень 2. Разность энергий $E_2 - E_1$, необходимая для атомного перехода, берётся из энергии падающей электромагнитной волны.

Эйнштейн показал, что вероятности вынужденного излучения и поглощения равны друг другу.

4. Основные понятия - активная среда, инверсная населённость, усиление и генерация.

Лазерная физика охватывает такие разделы физики как квантовая

электроника, нелинейная оптика, квантовая оптика. В теории лазера фундаментальную роль играют явления квантового характера. То есть рассматривая механизм перехода атома с одного энергетического уровня на другой мы видим, что энергия выделяется или поглощается отдельными порциями - квантами. Лазерный излучатель, служащий для генерации электромагнитного излучения оптического диапазона с уникальными свойствами, структурно состоит из следующих основных элементов: активной среды, источника накачки и резонатора.

Активная среда - вещество, в котором может быть создана инверсная населенность энергетических уровней. То есть достигнуто такое условие, когда число атомов, находящихся на верхнем "рабочем" энергетическом уровне в единице объёма (населённость верхнего уровня), превышает число атомов, находящихся на нижнем "рабочем" энергетическом уровне в единице объёма (населённость нижнего уровня). По типу активной среды лазеры подразделяются на твёрдотельные, газовые, полупроводниковые, жидкостные и другие. На практике активную среду твердотельного лазера часто называют активным элементом.

Поставщиком энергии для достижения состояния инверсной населённости в активной среде может служить, например: лампа-вспышка, полупроводниковый лазерный диод (диодная накачка), газовый разряд, инжекция носителей тока в полупроводниковых р-п переходах, тепловой способ, химическая реакция, ядерная накачка (в лазерах для военных применений).

Положительная обратная связь: если есть зависимость входящего в некоторую систему сигнала от выходящего сигнала (результата), то говорят о наличии обратной связи. Если же такая зависимость приводит к дальнейшему увеличению выходного сигнала (усилению результата), то такая связь считается положительной. Система работает как усилитель.

В основе работы любого лазера лежат три фундаментальных физических явления, а именно - спонтанное и вынужденное излучение и резонансное поглощение. Эти явления будут подробно рассмотрены в дальнейшем, а пока на качественном уровне изучим явление усиления и генерации электромагнитных волн в активной среде.

Рассмотрим в активной среде два энергетических уровня 1 и 2 с энергиями E_1 и E_2 и населённостью N_1 и N_2 . Известно, что при термодинамическом равновесии населённости энергетических уровней описывается статистикой Больцмана, согласно которой чем выше расположен энергетический уровень, тем меньше его населённость. В таком состоянии генерация вынужденного излучения невозможна. Поэтому для увеличения населенности верхнего энергетического уровня необходим подвод энергии (накачка). Если удастся достигнуть неравновесного состояния, для которого $N_2 > N_1$, то среда сможет действовать как усилитель падающего на него излучения. В этом случае говорят, что в среде, создана инверсная населённость.

5. Устройство лазера.

5.1 Функциональная схема.

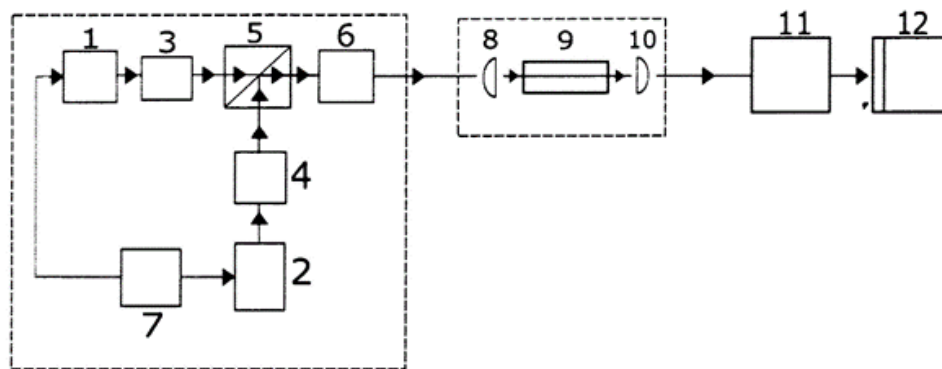


Рис. 1. Функциональная схема инфракрасного лазерного излучателя с накачкой двумя лазерными диодами.

- 1, 2 – лазерные диоды QL80S4HD 500 мВт/810 нм;
- 3, 4, 6 – оптические линзы, конденсоры;
- 5 – призма-куб
- 7 – блок питания 5V;
- 9 – активный элемент Y3A15O12:Nd³⁺, Ø 10 мм, длина 15 мм;
- 8, 10, 11 – оптические линзы и телескоп.

5.2. Изучаемые темы:

- Условие возникновения генерации в лазере;
- Настройка модуля накачки;
- Юстировка резонатора;
- Получение генерации на длине волны 1064 нм;
- Изучение процессов спонтанного и вынужденного излучения.

6. Практическая часть:

1. Собрать лазерный излучатель по схеме: установить на основание блок накачки, блок резонатора с удвоителем частоты, экран, подключить источник питания.
2. Включить источник питания, установить напряжение 4.5 Вольт.
3. Отъюстировать излучатель, добиться устойчивой генерации лазерного излучения.
4. Охарактеризовать форму полученного на экране пятна.
5. Дальнейшим повышением напряжения добиться появления второй моды.

Список литературы:

1. Русинов М. М. Техническая оптика 2017, -488 с.
2. Тарасов Л. В. Физика лазера. М.: Ленанд, 2017, -456 с.
3. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского. М.: Мир, 1990, - с. 558.
4. 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.
5. Ландсберг Т. С. Оптика. М.: физмат, лит., 2010, с.846.
6. Пойзнер Б. И. Физические основы лазерной техники. Учебное пособие, инфра - М, 2017
7. Ветко В. П., Петров Д. Д, Самоквалов А.А. Введение в лазерные технологии, Опорный конспект лекций по курсу "Лазерные технологии" и под редакцией Вейко В. П. СПб; университет ИТМО, 2018 - 161с