

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Изучение принципов работы твердотельного лазера на рубине

Практикум

Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов ННГУ,
обучающихся по направлениям подготовки 222900 – «Нанотехнологии и микросистемная
техника» и 210100 – «Электроника и наноэлектроника»

Нижний Новгород
2013 г.

УДК 539.18
ББК 22.343

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА РУБИНЕ: Составители: Машин А.И., Кудряшов М.А., Нежданов А.В., Коробков А.В. Практикум – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. – 16 с.

Рецензент: к.ф.-м.н. **В.В. Карзанов**

Методическая разработка посвящена изучению принципов работы твердотельного лазера на рубине. Изложены теоретические основы генерации и свойства лазерного излучения, понятия спонтанного и индуцированного излучения, временной и пространственной когерентности. Представлена схема энергетических уровней для реализации работы твердотельного лазера на рубине. Показано устройство лазера и методы его юстировки.

Данное пособие предназначено для студентов старших курсов физического факультета ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 222900 – «Нанотехнологии и микросистемная техника», 210100 – «Электроника и наноэлектроника» и специализирующихся в области физики наноструктур.

Ответственный за выпуск:
Председатель методической комиссии
Физического факультета ННГУ, к.ф.-м.н., доцент В.В. Сдобняков

УДК 539.18
ББК 22.343

© Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, 2013

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Спонтанное и индуцированное излучение.....	5
2. Твердотельный лазер на рубине.....	7
3. Резонатор Фабри-Перо.....	9
4. Когерентность. Методы измерения.....	10
5. Экспериментальная установка.....	12
6. Юстировка оптической системы установки.....	13
7. Техника безопасности при работе с УИГ-1М.....	14
ЗАДАНИЕ.....	15
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	16

ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитное излучение - это особый вид энергии, существующий в форме волн широкого диапазона частот. Следует различать два класса физических величин, характеризующих электромагнитное излучение [1-3]:

- 1) энергетические величины, характеризующие электромагнитное поле вообще (во всем спектральном диапазоне): интенсивность, энергетический поток излучения, плотность энергии излучения и т.д.;
- 2) величины, адаптированные под восприятие человеческого глаза (световые величины), используемые для описания только оптического диапазона: сила света, световой поток, яркость, освещенность и т.д.

Среди всего диапазона частот электромагнитного излучения принято выделять оптическое излучение (световое), включающего ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную области спектра. Источниками такого излучения (источники света) являются приборы и устройства, а также природные и космические объекты, в которых различные виды энергии преобразуются в энергию оптического излучения в диапазоне длин волн $10^{-9} - 10^{-3}$ м. Космические и природные излучающие объекты (Солнце, звёзды и др.), а также люминесцирующие объекты животного и растительного мира являются естественными источниками излучения. Соответственно, различные приборы и устройства относятся к искусственным источникам. Искусственные источники излучения в зависимости от вида преобладающего элементарного процесса испускания (вынужденного или спонтанного) разделяются на когерентные и некогерентные. По видам излучений источники света разделяют на тепловые и люминесцирующие. В тепловых источниках свет возникает при нагревании тел до высокой температуры. Тепловыми источниками являются электрические лампы накаливания, модели абсолютно чёрного тела, излучатели с газовым нагревом (калильные сетки) и т.д. Они имеют сплошной спектр, положение максимума которого зависит от температуры вещества. С ростом температуры общая энергия испускаемого теплового излучения возрастает, а её максимум смещается в область коротких длин волн. Более подробное описание свойств теплового излучения можно найти в литературе [3-5]. В люминесцирующих источниках свет возникает в результате превращения тех или иных видов энергии непосредственно в оптическое излучение независимо от теплового состояния излучающего тела. Примером люминесцирующих источников могут служить газоразрядные трубки, светодиоды, лазеры и др. В настоящее время популярными люминесцирующими источниками оптического излучения, несомненно, являются полупроводниковые светодиоды, обладающие рядом достоинств [6, 7].

Среди всех источников оптического излучения особое внимание стоит уделить лазерам, которые обладают рядом уникальных особенностей. Лазер - это источник электромагнитного излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов. В основе работы лазера лежит явление индуцированного излучения атомов и молекул, открытое А. Эйнштейном в 1917 г. Слово «лазер» - аббревиатура английской фразы «Light Amplification by

Stimulated Emission of Radiation», что означает «усиление света в результате вынужденного излучения». В отечественной литературе употребляется также термин «оптический квантовый генератор» (ОКГ). Создание лазера (1960 г.) послужило основой развития нового направления в физике - квантовой электроники. В 1964 г. советским физикам Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и американскому физика Ч. Таунсу за работы в области квантовой электроники присуждена Нобелевская премия по физике.

Для эффективного использования лазерного излучения необходимо знать его свойства, особенности распространения и возможности преобразования [6,8]. Лазер, в отличие от других источников света, обладает рядом замечательных свойств, связанных с когерентностью и высокой направленностью его излучения. ОКГ позволяет получать когерентные пучки света с очень малой расходимостью, что дает возможность с помощью обычных оптических систем концентрировать электромагнитную энергию в ничтожно малых объёмах, создавая колоссальные плотности энергии. Когерентность и высокая направленность излучения открывают принципиально новые возможности использования лазеров в областях, где «нелазерные» источники света неприменимы. Излучение, генерируемое большинством ОКГ (но не отраженное или рассеянное различными предметами), является линейно поляризованным. Можно отметить следующие способы преобразования лазерного излучения: пространственное, амплитудное, поляризационное, фазовое, частотное и временное.

Цель работы: изучение принципов работы импульсного оптического квантового генератора (лазера) на рубине.

1. Спонтанное и индуцированное излучение

Переход квантовой системы из возбужденного состояния в основное может быть осуществлен как самопроизвольно, так и под влиянием внешних воздействий. В первом случае переход называется спонтанным, во втором - индуцированным (или вынужденным). Вынужденные переходы могут происходить, например, под действием фотонов, энергия которых равна $E_2 - E_1$, где E_2 - энергия возбужденного состояния, а E_1 - энергия основного состояния. Излучение, возникающее при спонтанных переходах, называют спонтанным, а при вынужденных - индуцированным (или вынужденным) [3, 4, 9].

Спонтанные переходы в различных частях системы осуществляются неодновременно и независимо, поэтому фазы фотонов, излучаемых при этих переходах, не связаны между собой. Кроме того, направление распространения излучаемого фотона и его поляризация носят случайный характер. Таким образом, спонтанное излучение является некогерентным. Индуцированное излучение обладает такими же характеристиками, что и вынуждающее излучение. Индуцированные фотоны имеют ту же частоту, направление распространения, фазу и поляризацию, что и фотоны, вызывающие вынужденные переходы.

Как говорилось выше, на явлении индуцированного излучения электромагнитных волн возбужденными квантовыми системами основана работа оптических квантовых генераторов (лазеров). Рассмотрим типы переходов в квантовой системе между двумя уровнями энергии (рис. 1). При переходе в более высокое энергетическое состояние атомы поглощают энергию, а при переходе в состоянии с меньшей энергией - выделяют ее. Эти переходы могут быть как излучательными, связанными с поглощением (*a*) и испусканием света (*b*, *c*), так и безызлучательными (*d*). В состоянии термодинамического равновесия вероятность заполнения какого-либо энергетического уровня уменьшается с увеличением его энергии. Таким образом, в квантовой системе число частиц n_2 , находящихся в состоянии E_2 меньше, чем число частиц n_1 , находящихся в состоянии E_1 . Другими словами, населенность верхнего уровня меньше, чем населенность нижнего. При поглощении фотона с энергией $h\nu = E_2 - E_1$ частицы переходят с уровня E_1 на уровень E_2 . Так как $n_1 > n_2$, поглощение является доминирующим. Индуцированные переходы $E_2 \rightarrow E_1$ в этом случае лишь уменьшают коэффициент поглощения.

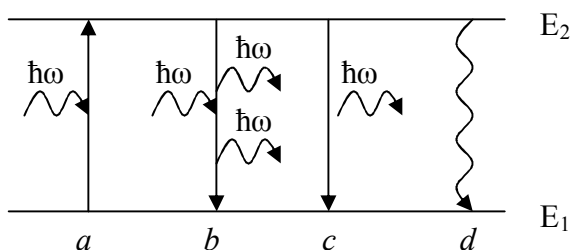


Рис.1. Возможные переходы в квантовой системе между двумя уровнями энергии

Ситуация, однако, изменится, если в системе создать условия, при которых $n_2 > n_1$. О таком состоянии говорят как о состоянии с инверсной населенностью. В этом случае процесс испускания индуцированного излучения доминирует над процессом поглощения до тех пор, пока населенность верхнего уровня не сравняется с населенностью нижнего. Таким образом, в среде с инверсной населенностью можно получить усиление света. Основная проблема состоит в том, как создать инверсную населенность. Одно из решений этой проблемы состоит в использовании трехуровневой системы.

На рис.2 изображена трехуровневая система. В условиях термодинамического равновесия практически все частицы расположены на нижнем (основном) энергетическом уровне с энергией E_1 . Если на данную систему действует излучение с частотой $\nu = (E_2 - E_1)/h$, то она переходит в возбужденное состояние. Кванты света поглощаются, а частицы переходят из состояния с энергией E_0 в состояние с энергией E_2 . Такое заселение уровня E_2 получило название оптической накачки. Инверсия населенности здесь может быть получена между уровнями E_1 и E_0 ($n_1 > n_0$). При этом время жизни частиц на уровне E_2 должно быть очень мало и частицы с этого уровня будут быстро переходить на метастабильный (с большим временем жизни) уровень E_1 , где за

счет этого смогут накапливаться. При реализации состояния инверсии населенностей на переходе между уровнями E_1 и E_0 возникает сильное спонтанное излучение (люминесценция). Далее спонтанно излучаемые фотоны, соответствующие модам оптического резонатора, в который помещается квантовая система (активный элемент) вызывают индуцированные переходы частиц между уровнями E_1 и E_0 .

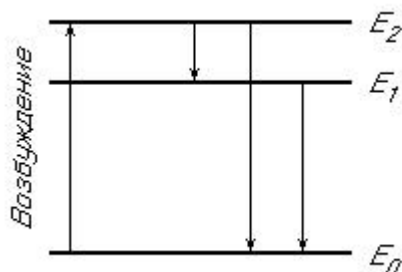


Рис. 2. Трехуровневая схема переходов

Для создания инверсной населенности между уровнями E_2 и E_1 необходимо, чтобы уровень E_2 за счет переходов $E_2 \rightarrow E_1$ опустошался медленнее, чем уровень E_1 за счет переходов $E_1 \rightarrow E_0$. Тогда в состоянии E_2 будет накапливаться больше частиц, чем в состоянии E_1 . Однако для осуществления этого процесса необходимо также, чтобы вероятность перехода $E_2 \rightarrow E_0$ была достаточно мала.

2. Твердотельный лазер на рубине

В зависимости от типа используемого активного вещества различают: газовые, твердотельные (на твердых диэлектриках), жидкостные и полупроводниковые лазеры. Хотя по агрегатному состоянию активного вещества полупроводниковые лазеры формально можно отнести к твердотельным, однако особенности происходящих в них процессах, а также особенности их конструирования, изготовления и эксплуатации требует вынесения этих приборов в отдельную группу. В свою очередь газовые лазеры делятся на атомарные, ионные, молекулярные, эксимерные, химические, и т.д. Также можно выделить отдельно волоконные лазеры и лазерные усилители. Принцип работы и характеристики всех перечисленных видов лазеров, а также разновидности твердотельных и полупроводниковых лазеров можно найти в литературе [6, 8, 10]. В зависимости от режима работы лазеры подразделяются на импульсные и непрерывные.

В настоящее время существует большое количество твердотельных лазеров, как импульсных, так и непрерывных. Одним из наиболее распространенных и мощных импульсных лазеров является лазер на рубине, о котором и пойдет далее речь. Рубин - кристалл окиси алюминия (Al_2O_3), в котором часть ($\sim 0.05\%$) атомов Al замещена ионами хрома ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$).

Активным элементом рубинового лазера является кристалл рубина, в котором генерирующими центрами (активными частицами) являются ионы хрома Cr^{3+} . Число активных частиц невелико и составляет доли процента от полного числа атомов среды. Таким образом, активные частицы в рубине практически не взаимодействуют друг с другом, и их энергетический спектр сохраняет некоторые черты спектра, присущего изолированному иону. Однако каждый отдельный ион хрома находится в поле кристаллической решетки, то есть взаимодействует с атомами решетки.

Взаимодействие активных атомов с полем кристаллической решетки приводит к расщеплению и уширению энергетических уровней, к превращению их в энергетические зоны. Электроны внутренних оболочек атома экранируются внешними электронами, поэтому они слабо взаимодействуют с кристаллическим полем, и связанные с ними энергетические уровни расширяются незначительно. Наибольшее уширение испытывают уровни, соответствующие внешним электронам в атоме. Таким образом, спектр поглощения (излучения) кристалла должен состоять из отдельных полос и резких линий поглощения (излучения), ширина которых зависит от ширины соответствующих энергетических уровней. На рис.3а изображена схема энергетических уровней иона хрома Cr^{3+} в рубине.

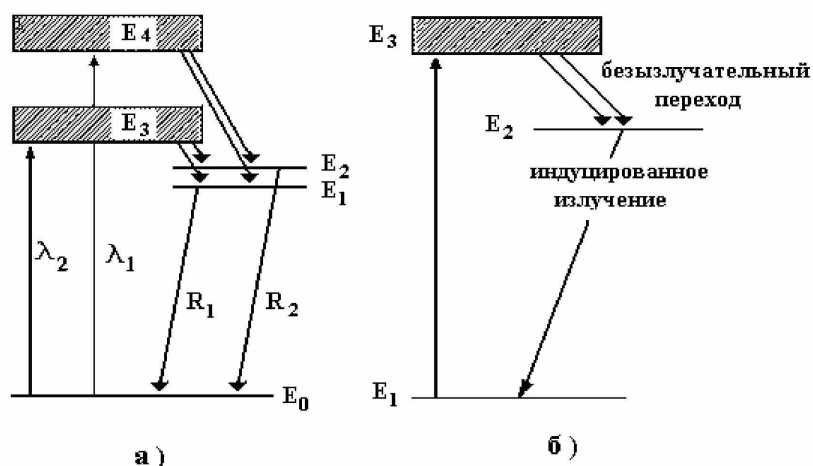


Рис.3. Реальная (а) и модельная (б) схема уровней и переходов в ионе хрома Cr^{3+}

Обычно рубин возбуждается излучением мощной лампы накачки. При этом излучение поглощается в двух широких полосах, соответствующих переходам ионов из основного состояния E_0 в состояния E_3 и E_4 . Центральным частям этих полос поглощения соответствуют длины волн $\lambda_1 = 4100 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 5600 \text{ \AA}$. В течение малого времени одна часть возбужденных ионов из состояний E_3 и E_4 возвращается в основное состояние E_0 , а другая часть переходит в состояния $E_{1,2}$. Переход в состояние E_0 радиационный, сопровождается излучением света; переходы в состояния $E_{1,2}$ - безызлучательные. Энергия при таком переходе передается кристаллической решетке. Вероятность безызлучательного перехода $E_{3,4} \rightarrow E_{1,2}$ значительно больше, чем вероятность радиационного перехода $E_{3,4} \rightarrow E_0$. Поэтому ионы

хрома из состояний $E_{3,4}$ будут, в основном, переходить в состояния $E_{1,2}$. Состояния $E_{1,2}$ являются метастабильными (переходы $E_{1,2} \rightarrow E_0$ запрещены правилами отбора для дипольного излучения), то есть, в этих состояниях ионы хрома могут находиться сравнительно долго. Переходам между уровнями E_1 , E_2 и основным состоянием E_0 соответствуют линии излучения R_1 и R_2 с длинами $\lambda_1 = 6943 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 6929 \text{ \AA}$. Каждая из этих линий, в свою очередь, дублетная, потому что основное состояние - дублет (состоит из двух близко расположенных подуровней). При комнатной температуре тонкую структуру R - линий наблюдать нельзя из-за их большой спектральной ширины. Лазерное излучение в рубиновом кристалле, в принципе, может быть получено на обеих R_1 и R_2 - линиях. Однако практически все лазеры на рубине работают на линии R_1 , так как на ней проще осуществить инверсную населенность. Это обусловлено тем, что вероятность перехода для линии R_1 больше, чем для линии R_2 . Кроме того, время релаксации частиц между уровнями E_1 и E_2 очень мало, поэтому между ними очень быстро устанавливается термодинамическое равновесие, и соотношение населенностей подуровней определяется законом Больцмана.

При достижении инверсной населенности генерация возникает на линии R_1 . Это будет препятствовать достижению порога генерации на линии R_2 (из-за малого времени релаксации опустошение подуровня E_1 повлечет за собой опустошение подуровня E_2). Генерация на линии R_2 может быть получена в том случае, если пороговая инверсия для линии R_2 будет много меньше, чем для линии R_1 . Таким образом, можно считать, что рубиновый лазер работает по трехуровневой энергетической схеме, изображенной на рис.3б. В этом случае при поглощении излучения ионы хрома из основного состояния E_1 переходят на энергетические уровни, лежащие в энергетической зоне E_3 . Уровни зоны E_3 являются вспомогательными и используются только для возбуждения ионов хрома. В течение малого времени часть возбужденных ионов переходит на уровень E_2 , а остальные - на уровень E_1 . Уровень E_2 - метастабильный - вероятность спонтанного перехода с уровня E_2 на уровень E_1 мала. Благодаря этому происходит накопление большого числа ионов хрома в состоянии E_2 . При определенной мощности лампы накачки достигается инверсная населенность уровней E_1 и E_2 , и система под действием излучения частоты $\nu_{1,2}$ оказывается способной перейти в состояние E_1 , генерируя при этом мощное монохроматическое излучение с длиной волны $\lambda_1 = 6943 \text{ \AA}$.

3. Резонатор Фабри-Перо

Для того чтобы создать квантовый генератор, в среде с инверсной населенностью необходимо обеспечить условия автоколебательного режима. Такой режим достигается за счет помещения вещества, в котором создается инверсная населенность, (активной среды) в резонатор, выполняющий роль положительной обратной связи. Резонатор обеспечивает также пространственную и временную когерентность излучения. Простейший

резонатор представляет собой два плоскопараллельных зеркала, одно из которых является полупрозрачным (резонатор Фабри – Перо) [7, 11].

При спонтанных переходах фотоны излучаются равновероятно во всех направлениях. Однако те фотоны, которые распространяются в направлении, перпендикулярном плоскости зеркал, отражаются от них и снова направляются в среду с инверсной населенностью (рис. 4). Выполняя роль индуцирующего излучения, они вызывают вынужденные переходы, затем повторно отражаются от зеркал и т.д. При каждом проходе излучения через вещество интенсивность излучения нарастает. Часть световой энергии выходит через частично прозрачное зеркало, образуя когерентный световой поток. Резонатор «выбирает» из всех излученных фотонов только те, которые имеют определенные частоты и направление распространения. Излучение имеет только такие частоты, при которых между зеркалами укладывается целое число полуволен [11, 12]:

$$\nu = \frac{c}{2L} n, \quad (1)$$

где L – расстояние между зеркалами резонатора.

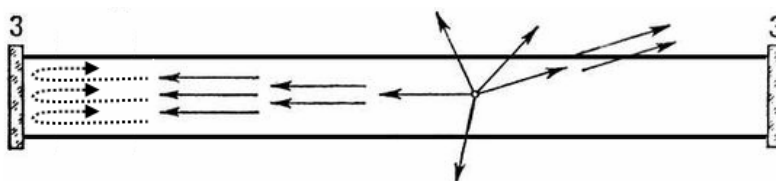


Рис. 4. Активная среда в резонаторе Фабри-Перо

4. Когерентность. Методы измерения

Когерентность - согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов [8].

В оптике понятие когерентности вводится для характеристики скоррелированности световых колебаний в различных точках пространства и в различные моменты времени.

Пространственная когерентность - состояние, при котором световые волны, проходящие через пространство, совпадают по фазе. Она характеризует корреляцию электромагнитного излучения в заданный момент времени в различных точках пространства.

Временная когерентность - состояние, при котором световые волны на протяжении своего периода проходят данную область в пространстве за одно и то же время. Она характеризует корреляцию электромагнитного излучения в заданной точке пространства с полем в предыдущие и последующие моменты времени.

Исторически понятие когерентности возникло в оптике в связи с интерпретацией результатов интерференционных опытов. Классические интерференционные опыты Юнга и Майкельсона оказываются прямыми методами измерения пространственных и временных корреляционных

функций. При этом распределение средней интенсивности в интерференционной картине непосредственно дает корреляционную функцию поля. Одновременно эти опыты можно рассматривать как схемы, поясняющие физический смысл пространственных и временных корреляционных функций.

Интерферометр Юнга (рис. 5.) представляет собой непрозрачный экран, в котором на некотором расстоянии s друг от друга вырезаны два малых отверстия P_1 и P_2 .

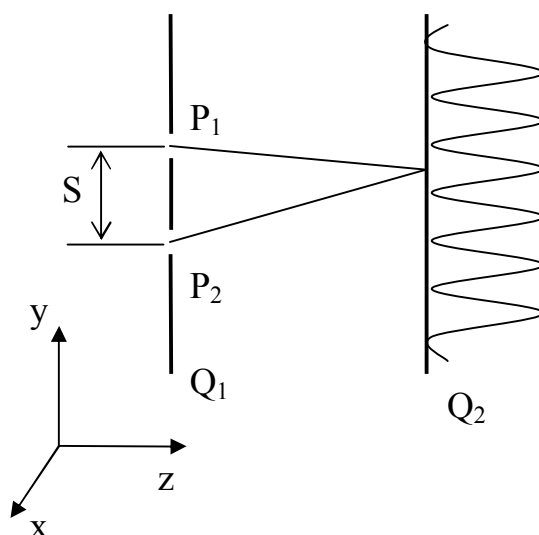


Рис 5. Схема интерферометра Юнга

Если на такой экран падает случайная волна, то волновые пучки, исходящие из отверстий P_1 и P_2 , интерферируют на экране Q_2 , расположенном на некотором расстоянии от экрана Q_1 . По контрасту интерференционной картины можно судить о поперечной пространственной когерентности светового пучка.

Понятие временной когерентности прямо связано с интерференционным экспериментом Майкельсона (рис. 6).

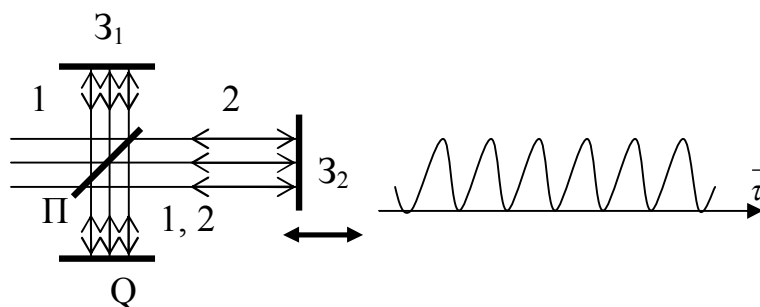


Рис.6. Схема интерферометра Майкельсона

Волна падает на наклонную полупрозрачную пластинку Π , формирующую два пучка. Эти пучки отражаются от зеркал Z_1 и Z_2 . Затем один из них, пройдя через пластинку Π , а другой, отразившись от нее, поступают на экран Q , где интерферируют. В плоскости экрана расположен детектор,

измеряющий интенсивность. Двигая зеркало Z_2 мы можем изменять временную задержку, что отразится на детекторе. Из графика распределения средней интенсивности в интерференционной картине можно непосредственно определить степень временной когерентности светового поля согласно формуле:

$$|\gamma_{12}(\tau)| = \frac{I_1(Q) + I_2(Q)}{2\sqrt{I_1(Q)I_2(Q)}} V(Q), \quad (2)$$

где I_1 и I_2 - интенсивности интерферирующих пучков, а $V(Q)$ - видность интерференционной картины, определяемая как:

$$V(Q) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (3)$$

Значение τ , при котором степень временной когерентности уменьшаются в два раза, называется временем когерентности.

Кроме интерферометров Юнга и Майкельсона существует большое число и других схем. Все эти схемы базируются на двух методах: методе деления амплитуды и методе деления волнового фронта. В методе деления амплитуды исходный пучок делится на частично отражающих и частично пропускающих оптических элементах. В методе деления волнового фронта пучок, проходя через отверстия, делится на несколько пучков. Таким образом, интерферометр Юнга - это интерферометр с делением фронта, интерферометр Майкельсона - интерферометр с делением амплитуды.

5. Экспериментальная установка

Голографическая установка УИГ-1М (рис. 7) предназначена для измерения параметров быстро протекающих процессов. В ней используется импульсное излучение рубинового лазера. Кроме лазера имеются два каскада оптических квантовых усилителей (ОКУ). Технические характеристики УИГ-1М представлены в Таблице 1.

Благодаря высокой когерентности импульсного лазерного излучения установка УИГ-1М позволяет осуществлять голографическую запись быстро протекающих процессов и динамических объектов. При этом обеспечивается измерение:

- линейных размеров объектов с погрешностью 20 мкм;
- разности оптических длин 0.3-0.8 мкм с погрешностью 0.2 мкм;
- перемещений поверхности от 0.15 до 40 мкм с погрешностью 0.1 мкм.

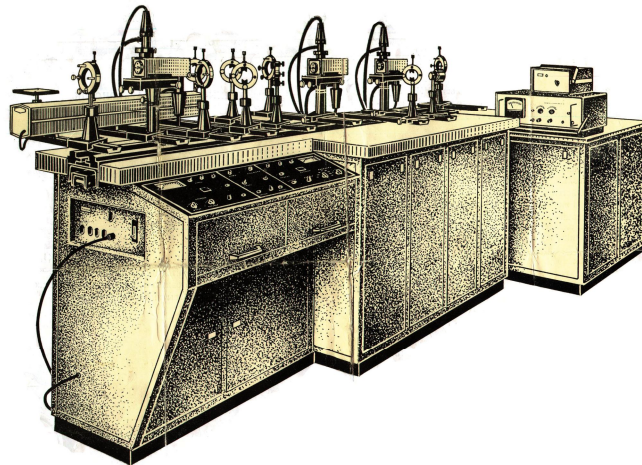


Рис. 7. Голографическая установка УИГ-1М

В комплект установки входит газовый лазер для юстировки оптической схемы, набор интерференционных зеркал для волны $\lambda = 0.6943$ мкм, алюминированных зеркал и плоскопараллельные пластины. Для построения оптической схемы в комплект входят юстировочные приспособления и оптические элементы.

Таблица 1. Технические данные УИГ-1М

Длина волны излучения рубинового лазера, мкм	0.6943
Энергия одномодового излучения лазера, Дж:	10^{-1}
Диапазон изменения временной задержки импульса относительно пускового синхроимпульса, мкс	50...10000
Временные интервалы между импульсами в режиме парных импульсов, мкс	40...250

Пульт управления установки включает следующие узлы: генератор тактовых импульсов, пусковую схему, триггер, токовые дискриминаторы, схемы электронной задержки. На вспомогательной боковой панели смонтированы разъемы ввода синхроимпульсов при внешнем запуске установки, выходы одиночного синхроимпульса из серии тактовых модуляционных импульсов и импульсов поджига для контроля временных задержек.

6. Юстировка оптической системы установки

На рис. 8 представлено, как необходимо располагать оптические элементы для юстировки импульсного ОКГ. Включите оптический квантовый генератор (1), работающий в непрерывном режиме, и пропустите поток излучения через диафрагму (2) и полупрозрачное зеркало (4), которое делит его на два луча. Направьте один луч зеркалами (6) и (7) по оптической оси импульсного ОКГ, образованной оптическими элементами (9), (8) и диафрагмой (3).

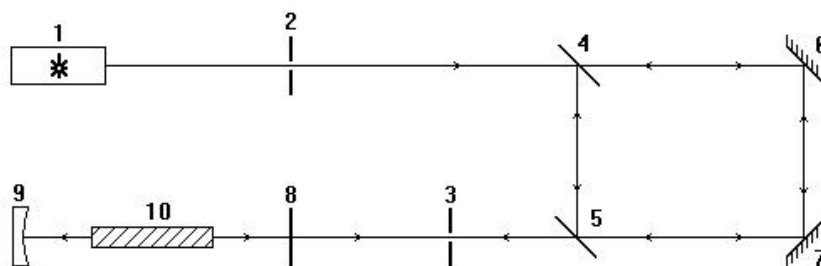


Рис.8. Схема размещения элементов при юстировке оптической системы установки: 1 – оптический квантовый генератор ГН-2Р, 2,3 – диафрагма, 4,5,8 – плоское полупрозрачное зеркало, 6,7 – плоское глухое зеркало, 9 – сферическое зеркало, 10 – рубиновый активный элемент импульсного ОКГ

Поворачивая юстировочные винты юстировочных головок, добейтесь, чтобы лучи, отраженные от рабочих поверхностей сферического зеркала (9) и полупрозрачного зеркала (8), попадали в отверстие диафрагмы (2). Поворачивая юстировочные винты стола импульсного ОКГ, добейтесь, чтобы луч, отраженный от центральных участков торцевых поверхностей рубинового активного элемента проходил через отверстие диафрагмы (3) и попадал в отверстие диафрагмы (2).

7. Техника безопасности при работе с УИГ-1М

1. Перед началом работы при входе в лабораторное помещение надеть спецодежду (черный или темно-синий халат), сменную обувь, а также защитные очки СЗС-22.
2. Все работы с оборудованием должны производиться на специальных рабочих местах, оборудованных соответствующим образом под вид работ. Рабочее место должно содержаться в чистоте, инструмент располагаться в порядке, быть в исправности и использоваться по назначению.
3. Не разрешается стоять на пути пучка ОКГ. Для предотвращения поражения прямым или зеркально отраженным лучом лазера запрещается вносить в зону луча блестящие предметы при работе с открытыми установками и производить визуальное наблюдения прямого излучения. Не смотреть на те места, куда попадает излучение ОКГ (или излучение, преобразованное в гармоники), во избежание попадания рассеянного излучения в глаза и поражения сетчатки глаза.
4. Перед подачей высокого напряжения на конденсаторную батарею и срабатыванием ламп накачки, работающие на установке должны предупредить находящихся в комнате о включении генерации ОКГ. После предупреждения о включении генерации лица, не ведущие каких-либо наблюдений в момент вспышки должны закрыть глаза.
5. Не нарушать защитное заземление и блокировки. Не прикасаться к корпусам головок ОКГ и усилителей.

6. Не находиться в помещении, где размещена установка ОКГ, лицам, не имеющим отношения к работе ОКГ.
7. Не оставлять установку включенной без присмотра даже на непродолжительное время.
8. ОКГ должен устанавливаться так, чтобы путь пучка проходил по наименее посещаемой зоне. В случае, когда излучение ОКГ не поглощается на измерительном приборе, в конце пучка устанавливается экран (или ловушка) для ограничения распространения пучка. Экран (или ловушка) должны быть выполнены так, чтобы рассеяние пучка от них было сведено к минимуму.
9. Не настраивать оптическую схему ОКГ по автоколлиматору при заряженной батарее, так как возможна самопроизвольная вспышка ламп накачки и генерация излучения.
10. Наладка и экспериментальные исследования проводятся не менее чем двумя сотрудниками.
11. При подозрении на возможное повреждение глаз сотрудника, подвергшегося действию луча лазера, пострадавшего следует немедленно отправить к врачу для осмотра и оказания первой помощи. При незначительном поражении кожных покровов рук или лица должны быть приняты меры первой помощи, аналогичные тем, которые применяются к обычным ожогам (например, смазывание борным вазелином или смачивание раствором марганцовокислого калия). При значительных ожогах следует наложить стерильную повязку и направить пострадавшего к врачу.

ЗАДАНИЕ

1. Собрать схему для юстировки оптической системы установки.
2. Отъюстировать оптическую систему установки.
3. Собрать и отъюстировать интерферометр Майкельсона.
4. Измерить временную когерентность излучения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Характеристики электромагнитного излучения.
2. Основные свойства, характеристики и законы теплового излучения. Источники теплового излучения.
3. Определение люминесценции. Люминесцирующие источники излучения.
4. Светодиоды. Особенности излучения светодиодов.
5. Лазер. Типы лазеров. Свойства лазерного излучения.
6. Преобразования лазерных пучков.
7. Характеристики спонтанного и вынужденного излучения.
8. Инверсная населенность и условия ее создания.
9. Энергетическая диаграмма. Квантовые переходы в рубине.
10. Резонатор Фабри-Перо.

11. Когерентность (пространственная и временная). Когерентное излучение.
12. Юстировка оптической системы. Условие правильной юстировки.
13. Экспериментальная установка. Назначение отдельных ее частей.
14. Опасные факторы лазерного излучения и специфика работы с ним.
15. Способы предотвращения поражений лазерным излучением при работе на установке УИГ-1М.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутиков Е.И. Оптика / под ред. Н.И. Калитеевского. М.: Высш. шк., 1986. 512 с.
2. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1972. 256 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980. Т. 4. 752 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1970. Т. 3. 537 с.
5. Василевский А.М., Кропоткин М.А., Тихонов В.В. Оптическая электроника. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1990. 176 с.
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М.: Высш. шк., 2001. 573 с.
7. Оптика и связь: Оптическая передача и обработка информации. Пер с фр. / А. Козанне, Ж. Флере, Г. Мэтр, М. Руссо. М.: Мир, 1984. 504с.
8. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение: Учеб пособие. М.: Техносфера, 2006. 432 с.
9. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. Н.Новгород: издательство ННГУ, 1993. 491 с.
10. Ярив А. Введение в оптическую электронику: пер. с англ. М.: Высшая школа, 1983. 398 с.
11. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия / отв. ред. М.Е. Жаботинский. М.: «Сов. Энциклопедия», 1969. 432 с.
12. Пихтин А.Н. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники. М.: Высш. шк., 1983. 304 с.