

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 17

ОПТИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР (ОКГ) НА РУБИНЕ

Введение. *)

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 (ионы хрома) в рубине практически не взаимодействуют друг с другом, и их энергетический спектр сохраняет некоторые черты спектра, присущего изолированному иону. Однако, каждый отдельный ион хрома (активная частица) 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 полосы, зоны. Электроны внутренних оболочек атома, сильно связанные, экранируются внешними электронами, поэтому они слабо взаимодействуют с кристаллическим полем, и связанные с ними энергетические уровни расширяются незначительно. Наибольшее уширение испытывают уровни, соответствующие внешним, слабее связанным, 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.11а изображена схема уровней энергии иона хрома Cr^{3+} в рубине.

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 .

*) Прежде чем ознакомиться с описанием данной задачи, необходимо изучить работу ОКГ, изложенную во введении к лабораторной работе № 17.

**) Рубин - кристалл окиси алюминия, в котором часть атомов Al замещена ионами Cr^{3+} ($Al_2O_3 : Cr^{3+}$)

Центральным частям этих полос поглощения соответствуют длины волн $\lambda_1 = 4100 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 5600 \text{ \AA}$; ширина каждой из них $\approx 1000 \text{ \AA}$.

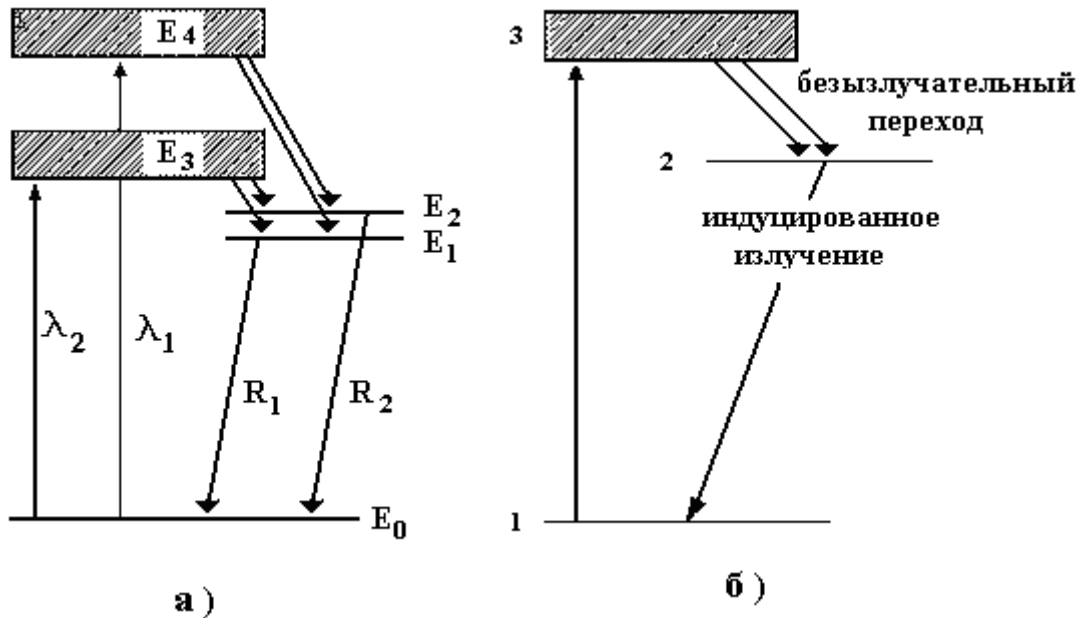


Рис.11. Реальная (а) и модельная (б) схема уровней и переходов в ионе хрома Cr^{3+} в рубине.

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 $E_{3,4} \rightarrow E_{1,2}$ ($2 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}$) значительно больше, чем вероятность радиационного перехода $E_{3,4} \rightarrow E_0$ ($3 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$). 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 ($\approx 10^{-3} \text{ c}$).

Переходам между уровнями E_1 , E_2 и основным состоянием E_0 соответствуют линии излучения R_1 и R_2 с длинами волн $\lambda_1 = 6943 \text{ \AA}$ 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, расстояние между которыми равно $0,38 \text{ см}^{-1}$). При комнатной температуре тонкую структуру R -линий наблюдать нельзя из-за их большой спектральной ширины ($\approx 11 \text{ см}^{-1}$). Лазерное излучение в рубиновом кристалле, в принципе, может быть получено на обеих R_1 и R_2 -линиях. Однако практически все ОКГ 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 (меньше 10^{-7} с). 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, рубиновый ОКГ работает по трехуровневой энергетической схеме, см. рис.3а и 11б.

При поглощении излучения ионы хрома из основного состояния 1 переходят на энергетические уровни, лежащие в заштрихованной энергетической зоне 3. Уровни зоны 3 являются вспомогательными и используются только для возбуждения ионов хрома. В течение малого времени часть возбужденных ионов переходит на уровень 2, а остальные - на уровень 1. Уровень 2 - метастабильный - вероятность спонтанного перехода с уровня 2 на уровень 1 мала. Благодаря этому происходит накопление большого числа ионов хрома в состоянии 2, а при определенной мощности лампы накачки достигается инверсная населенность уровней 1 и 2, и система оказывается способной под действием излучения частоты $\nu_{1,2}$ перейти в состояние 1, генерируя при этом мощное монохроматическое излучение с длиной волны

$\lambda_1 = 6943 \text{ \AA}$. Большое время жизни τ_2 ($\tau_2 \approx 10^{-3} \text{ с}$) верхнего рабочего уровня 2 рубинового (или другого твердотельного) лазера (ОКГ) ответственно за ряд особенностей его генерации. Коротко познакомимся с некоторыми из них. Большое время жизни верхнего рабочего уровня рубинового лазера позволяет получать так называемые гигантские импульсы - световые импульсы сверхвысоких мощностей (до 10^{14} Вт и более). **Режим гигантского импульса реализуется при модуляции добротности - управляемом изменении порога генерации.**

Принцип работы лазера при модуляции добротности следующий. Допустим, что внутри лазерного резонатора помещен затвор. Если затвор закрыт, то генерация не возникает и инверсная населенность за время $\approx \tau_2$ может достигнуть очень большой величины. Если теперь затвор “быстро” открыть, то накопленная энергия выделится в виде короткого (длительностью порядка нескольких наносекунд) и интенсивного импульса. Для модуляции добротности используются электрооптические затворы (основанные на эффекте Керра), оптико-механические затворы (механические способы модуляции добротности например, путем вращения с большой скоростью выходного зеркала) и др. Лазеры, работающие в режиме гигантского импульса, находят широкое практическое применение (точная механика, микроэлектроника, медицина и др.).

Большое время жизни τ_2 верхнего рабочего уровня 2 рубинового (или другого твердотельного) лазера в сочетании с большой скоростью накачки ответственны за пульсирующий характер установления генерации лазера. Убедимся в этом. Предположив, что лазер генерирует на одной моде, рассмотрим начало генерации.

В первые мгновения после включения лампы накачки населенность N_2 верхнего рабочего лазерного уровня растет линейно (влияние спонтанного излучения незначительно, поскольку τ_2 велико). В момент времени, когда инверсная населенность ΔN станет равной пороговой ($\Delta N = \Delta N_{пор}$), интенсивность излучения J лазера начнет возрастать из-за индуцированных переходов, рост населенности ΔN замедляется и затем прекращается, когда скорость опустошения уровня индуцированным излучением становится равной скорости его накачки; при этом интенсивность излучения лазера J продолжает расти, так как $\Delta N > \Delta N_{пор}$, см. рис.12.

Возникший мощный пик генерации быстро уменьшает инверсную населенность ΔN до уровня ниже порога (активная среда теперь не усиливает излучение) и вскоре сам затухает.

Накачка снова увеличивает инверсную населенность до уровня выше порога – возникает второй пик генерации и т.д.

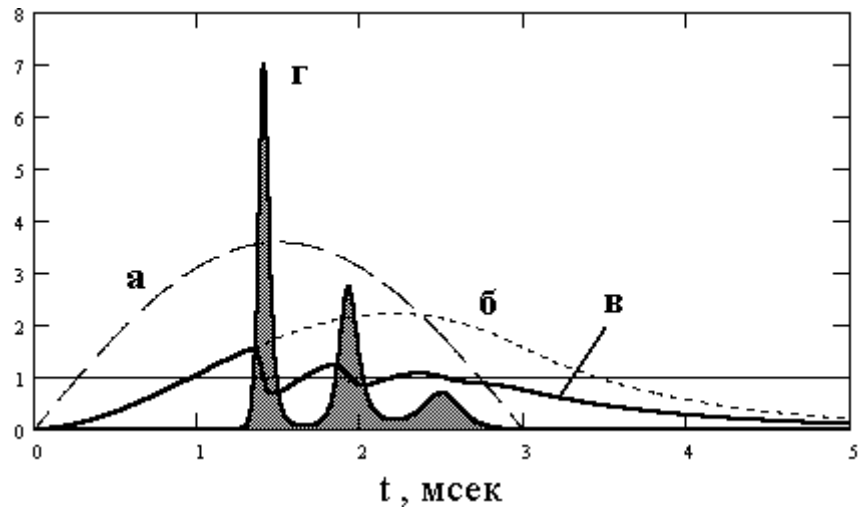
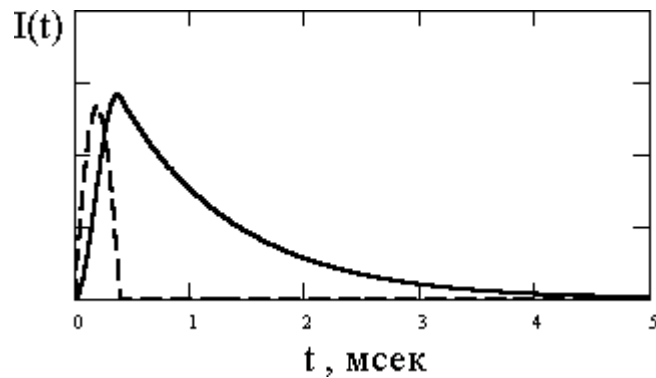


Рис. 12. Вид временной зависимости инверсной населенности и интенсивности генерируемого излучения J в лазере, работающем на одной моде;

а - мощность накачки, б - поведение инверсной населенности без генерации, в - инверсная населенность при генерации, г - мощность генерации, горизонтальная линия – уровень пороговой инверсной населенности.



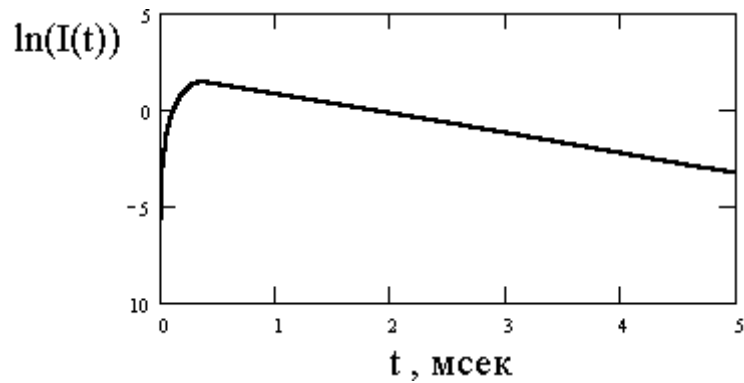


Рис.13. Спонтанное излучение (люминесценция) рубина.

После короткого импульса накачки в случае отсутствия резонатора возникает экспоненциально затухающее спонтанное излучение (люминесценция) , см. рис. 13. Зависимость логарифма интенсивности спонтанного излучения от времени позволяет измерить время жизни τ_2 верхнего рабочего уровня 2 лазера.

В настоящей работе исследуются следующие характеристики ОКГ на рубине:

1. Порог генерации, длительность и форма генерируемого импульса.
2. Энергия пакета импульсов и коэффициент полезного действия ОКГ.
3. Спектральная ширина генерируемой линии.
4. Время жизни верхнего лазерного уровня рубина.

2. Экспериментальная установка.

Схема установки представлена на рис.14.

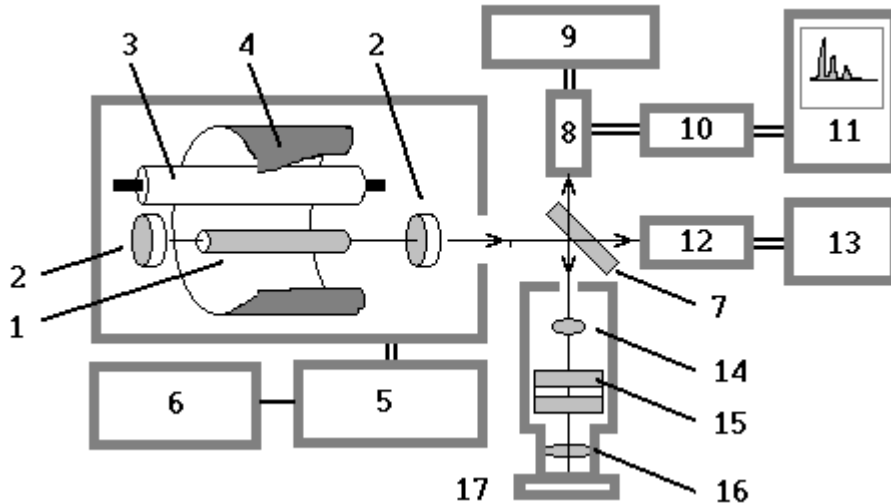


Рис. 14. Схема установки: 1 - кристалл рубина; 2 - зеркала резонатора; 3 - лампа накачки; 4 - эллиптический отражатель; 5 – блок питания лазера; 6 – ЛАТР; 7 - отклоняющая плоскопараллельная пластинка; 8 - ФЭУ; 9 - блок питания; 10 - катодный повторитель; 11 – компьютер с осциллографической платой (АЦП); 12 - датчик измерителя мощности; 13 - измеритель мощности; 14 - конденсор; 15 - эталон Фабри-Перо; 16 – объектив; 17 – кассета .

В работе используется рубиновый лазер “Арзни-206”. Его активным элементом является кристалл рубина 1 длиной 80 мм, диаметром $d=6,5$ мм, расположенный между плоскопараллельными зеркалами 2 (см.рис.14). Для вывода излучения одно из зеркал сделано полупрозрачным. Кристалл помещен в одном из фокусов отражателя 4, выполненного в виде эллиптического цилиндра, в другом находится лампа накачки 3. Лампа дает излучение в достаточно широкой области спектра, максимум интенсивности которого лежит довольно близко к области длин волн, соответствующих переходу $1 \rightarrow 3$ (см. рис. 11б). Зарядное напряжение на батарее конденсаторов (питающей лампу накачки во время импульса) измеряется вольтметром, расположенным на лицевой панели прибора “Арзни-206”.

Источник питания лампы, представляющий собой полупроводниковый выпрямитель с батареей конденсаторов $C = 1300$ мкф, вынесен в отдельный блок. Входное напряжение на выпрямителе может изменяться с помощью ЛАТР 6 (см.рис.14). **При этом напряжение на батарее конденсаторов достигает 1000 В !!!**

Рубиновый кристалл охлаждается проточной водой, за подачей и напором которой следит дежурный инженер. Запуск лазера осуществляется кнопкой “пуск”. Лазер “Арзни-206” может работать как в однократном импульсном режиме, так и в режиме повторяющихся

импульсов с частотой 2 Гц. В работе используется только однократный импульсный режим. Генерируемый импульс излучения, отразившись от стеклянной плоскопараллельной пластинки 7, установленной под углом в 45° к оси лазера *) (см.рис.14), попадает на пластинки интерферометра Фабри-Перо 15, а затем на фотопластинку 17. Частично отразившись от первой пластинки интерферометра, луч попадает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-16) 8 (рис.14). Сигнал с ФЭУ через катодный повторитель 10 по коаксиальному кабелю попадает на осциллографическую плату компьютера 11 (рис.14). Типичная картина, наблюдаемая на экране монитора, представлена на рис.12г. Одновременно часть излучения лазера сквозь плоскопараллельную пластинку 17 попадает на датчик 12 измерителя мощности и регистрируется прибором ИНИ-2 (или ИКТ-1м).

Остальные узлы установки описаны в соответствующих упражнениях.

*) Такое расположение пластины позволяет направлять лазерный импульс одновременно на эталон Фабри-Перо 15, ФЭУ 8 и датчик измерителя мощности 12 (см.рис.14).

П О Р Я Д О К В Ы П О Л Н Е Н И Я Р А Б О Т Ы

Помните - Вы работаете на **высоковольтной установке** - строго соблюдайте **правила техники безопасности**.

Будьте внимательны! **Лазер - мощный источник света: попадание в глаза как прямого, так и отраженного лазерного луча недопустимо.**

Установка отъюстирована сотрудником лаборатории и **не требует** от студента дополнительной настройки.

Порядок работы на установке следующий:

1. Включить тумблер “накал” на панели лазерного блока (загорается сигнальная лампочка на торцевой панели блока питания);
2. через 10-15 минут включить тумблеры “анод” и “излучение”;
3. с помощью ЛАТРа установить на лазере нужное напряжение (см. паспорт установки) и затем вывести ЛАТР в нулевое положение;
4. кнопкой “пуск” произвести запуск лазера.

Лазер выключается в обратной последовательности: “пуск” -

“излучение” - “анод” - “накал”.

Не оставляйте установку включенной без присмотра.

Упражнение 1. Определение порога генерации, длительности и формы генерируемого импульса.

Для выполнения упражнения используются следующие приборы установки: лазер “Арзни-206”, ФЭУ-16 и осциллографическая плата компьютера.

Поскольку на установках 1, 2 в компьютерах установлены разные осциллографические платы, описания работы с ними находятся на установках.

Упражнение выполняется в следующей последовательности:

1. включить блок питания ФЭУ;
2. по заданию и под непосредственным наблюдением преподавателя (или сотрудника лаборатории) определить **порог генерации лазера**, то есть установить, начиная с каких напряжений на батарее конденсаторов лампы накачки ОКГ генерируется импульс излучения. Напряжение на лампе накачки регулируется ЛАТР’ом 6 (рис.14) и измеряется вольтметром, расположенным на лицевой панели данного блока;
3. зарисовать типичные картины генерируемого импульса на экране монитора.

Задание.

1. Определить порог генерации. Идеальной является осциллограмма с **единственным** импульсом .
2. Оценить при помощи картинки на экране монитора длительность генерируемого ОКГ пакета импульсов излучения при различных напряжениях питания лампы накачки; объяснить временную зависимость его формы.

Упражнение 2. Определение энергии импульсов ОКГ.

Для определения энергии одиночных импульсов ОКГ в задаче используются приборы : измеритель калориметрический твердотельный ИКТ - 1М или измеритель средней мощности и энергии импульсов ИМО-2. Принцип работы обоих приборов заключается в сравнении теплового действия излучения ОКГ, поглощенного приемным элементом (поглощающей нагрузкой) с тепловым действием постоянного тока, рассеиваемого в той же поглощающей нагрузке. Регистрация нагрева нагрузки поглощенной энергией производится в ИКТ-1М медным

проволочным термометром сопротивления, включенным в мостовую схему, в ИМО - 2 термобатарей, сигнал с которой попадает на усилитель (ФГУ), а затем регистрируется индикаторным прибором. Приборы состоят из следующих основных частей измерительной головки, юстировочного механизма, блока индикации (см рис. 15). Измерительная (см.рис.16) головка состоит из двух одинаковых приемных элементов (ТЭС)1, помещенных в конических выемках массивного медного тела 2, расположенного внутри массивного термостата, образованного медным корпусом 3 и кожухом измерительной головки 4.

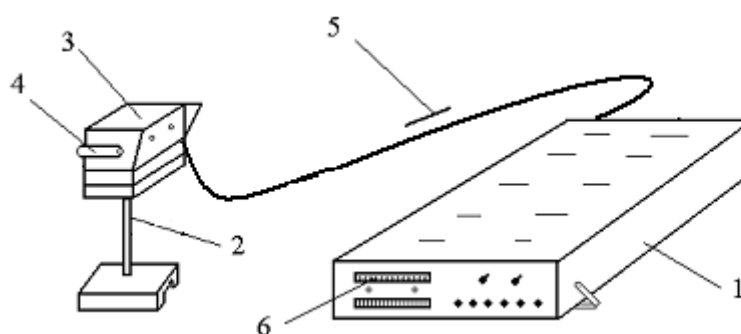


Рис.15. Основные части приборов ИМО-2 и ИКТ - 1М; 1 - блок индикации; 2 - столик с юстировочным механизмом; 3 - измерительная головка; 4 – визир; 5 – кабель; 6 - индикаторный прибор.

Каждая из ТЭС содержит тонкостенный полый медный конус 5, на наружной поверхности которого размещена медно-константановая термобатарея 6, состоящая из ≈ 2000 термопар, равномерно распределенных по поверхности конуса 5^{*)}. Внутри конуса 5 на стеклянных держателях 7 расположен резистор 8, выполненный из нихромовой проволоки, намотанной на конус 9. В резисторе 8 поглощается и преобразуется в тепло энергия пучка излучения ОКГ, в нем же выделяется энергия постоянного тока при калибровке прибора. Измерительная головка закрепляется на юстировочном механизме, позволяющем совмещать оптическую ось измерительной головки (ТЭС) с осью пучка ОКГ. Для облегчения юстировки прибора предусмотрен визир 12 (видимого или ИК-диапазона). Измерительные головки ИМО-2 или ИКТ-1М расположены за плоскопараллельной пластинкой. Перед включением прибора (ИМО-2 или ИКТ-1М) необходимо запустить лазер и проверить юстировку измерительной головки. Лазерный луч должен попадать на перекрестье крышки, одетой на вход измерительной головки. В случае, если юстировка сбита, следует обратиться к преподавателю или к дежурному в данном помещении практикума сотруднику учебной лаборатории. После проверки того, что измерительная головка

отъюстирована, нужно снять крышку с входного отверстия ТЭС. Далее следует включить тумблер “сеть” на передней панели блока индикации, при этом загорается сигнальная лампочка. Дать прибору прогреться в течении 20-25 минут. Переключатель “калибр-выкл.” должен находиться в положении “выкл”, а переключатель “мощность-энергия” - в положении “энергия”. После прогрева прибора установить указатель индикаторного прибора на нулевую отметку шкалы, а переключатель “ватты-джоули” поставить в положение 3 Дж. Затем подать пучок ОКГ в измерительную головку и произвести отсчет (максимальное отклонение указателя индикаторного прибора.) После каждого импульса необходимо выждать время 8 - 10 минут для остывание ТЭС и кристалла рубина.

Следует помнить, что при работе с прибором ИМО-2 или ИКТ-1М необходимо соблюдать все правила безопасной работы с высоким напряжением. Кроме того, при юстировке прибора и измерениях нельзя допускать поглощения бликов, отраженных от входного окна, в глаза человека.

*) В ИКТ-1М вместо термобатарей используется медный проволочный термометр.

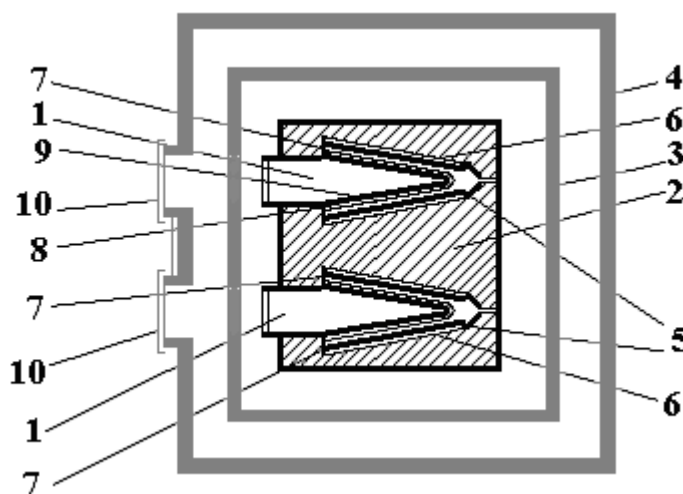


Рис.16. Схема конструкции измерительной головки ИМО-2: 1 –приемный элемент (ТЭС); 2 - массивное медное тело; 3 - медный корпус; 4 - кожух головки; 5 - медный конус; 6 – термобатарея; 7 – стеклянные держатели; 8 – резистор; 9 - внутренний конус; 10 – крышка; 11 – кабель.

Задание

1. Определить энергию импульса и среднюю мощность генерации при тех же величинах напряжения питания лампы накачки, при которых производились измерения длительности пакета импульсов излучения лазера в первом упражнении.
2. Определить КПД лазера при тех же условиях.

Упражнение 3. Определение спектральной ширины генерируемой линии.

Ширина линии определяется по интерференционной картине, получаемой с помощью эталона Фабри-Перо (см.рис. 14, 17) расстояние между зеркалами интерферометра $l = 0.4$ мм.

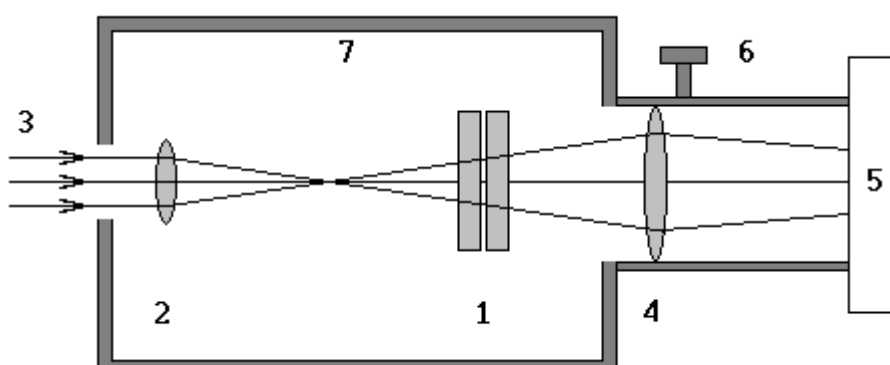


Рис.17. Эталон Фабри-Перо: 1 – эталон Фабри-Перо; 2 – конденсор; 3 – излучение от ОКГ; 4 – объектив; 5 – кассета; 6 – ручка фокусировки объектива; 7 – кожух камеры.

Генерируемое излучение с помощью отклоняющей пластинки 7 (рис.14) направляется через конденсор на эталон Фабри-Перо и затем фокусируется объективом и регистрируется фотопластинкой “инфра”. Фотографирование производится с экспозицией от одного запуска ОКГ. Вид интерференционной картины, получаемой на пластинке, показан на рис. 18.

Задание.

1. Построить контур генерируемой линии и определить его полуширину. Строго говоря, полученный профиль линии есть результат наложения истинного контура линии источника на так называемую аппаратную функцию *) интерферометра Фабри-Перо.

Полуширина, найденная из этого профиля, не равна сумме полуширин истинного контура и аппаратной функции, а зависит от них сложным образом. Характер этой зависимости определяется видом функции, описывающей истинный контур линии и аппаратной функции.

В данном случае полуширина аппаратной функции, экспериментально определенная с помощью газового лазера (линию излучения которого можно считать бесконечно узкой, так как ее ширина заведомо меньше аппаратной функции), по порядку величины много меньше полуширины линии генерации лазера.

*) Понятие аппаратной функции вводится в связи с тем, что любой реальный спектральный прибор даже бесконечно узкую линию источника изображает в виде контура конечной ширины [1].

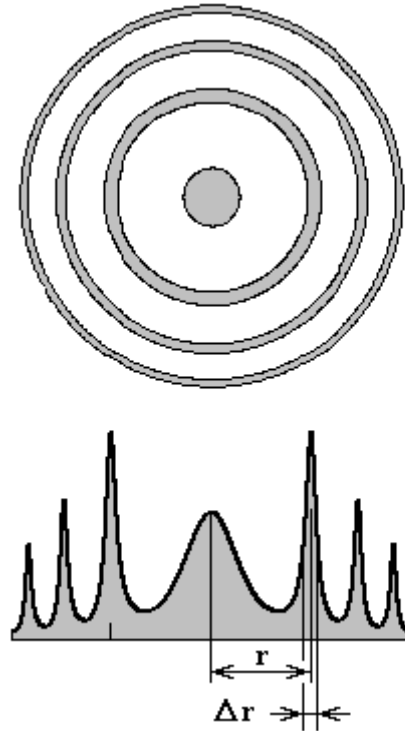


Рис.18. Вид интерференционной картины и распределение интенсивности по ее диаметру.

Поскольку измерения в настоящем упражнении не претендуют на большую точность (мы не строим кривую почернения фотопластинки и не определяем коэффициент контрастности, что необходимо для точных вычислений (см., например, Прокофьев “Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов”)), то аппаратную полуширину можно не учитывать.

Обработка интерферограмм производится на микрофотометре МФ-4 [3].

Строится кривая зависимости почернения фотопластинки (пропорциональная интенсивности излучения J) от расстояния от какой-либо точки вблизи края пластинки на прямой, проходящей через центр интерференционной картины (рис.18). Отметим, что интенсивность интерференционных колец убывает с увеличением номера кольца. При фотографировании первые кольца на снимке могут попасть в область передержек, а удаленные - в область недодержек. Поэтому при обработке снимка следует выбрать тот его участок, который соответствует линейной части кривой почернения.

Измеряются радиусы интерференционных колец и их ширины Δr , соответствующие половинной интенсивности (см.рис.18) и по формуле [3]

$$\Delta\lambda = \lambda \frac{r \Delta r}{f^2}$$

определяется полуширина линии $\Delta\lambda$ в шкале длин волн, где λ - длина волны излучения в Å , а r - расстояние (мм) от центра картины до внутреннего края измеряемого кольца на половине высоты; Δr - ширина измеряемого кольца (мм) на половине высоты; а f - фокусное расстояние объектива ($f = 270$ мм). Полуширину линии определить как среднюю из результатов измерений по трем кольцам.

2. По формулам общего «Введения» (формулы (49), (50)), рассчитать число генерируемых мод и определить различие длин волн двух соседних мод ($L = 80$ мм, показатель преломления рубина $n = 1,77$).

3. Рассчитать доплеровскую ширину линии (общее «Введение», формула (31)) и сравнить ее с измеренной (температуру кристалла принять равной $T=300$ К). Объяснить результаты сравнения.

4. Сравнить измеренную ширину линии генерации с шириной линии люминесценции $\Delta\nu = 11 \text{ см}^{-1}$; объяснить результат.

Упражнение 4. Определение времени жизни верхнего лазерного уровня рубина.

Время жизни верхнего лазерного уровня 2 (см.рис.11,б) рубина определяется по зависимости интенсивности спонтанного излучения, возникающего при переходе $2 \rightarrow 1$, от времени (см.общее «Введение»). Для выполнения упражнения № 4 собрана отдельная установка, схема которой изображена на рис. 19.

Рубиновый кристалл, лишенный зеркал, освещается коротким импульсом лампы накачки; питание лампы накачки осуществляется от полупроводникового выпрямителя с конденсатором емкостью $C = 120$ мкФ. Для измерения времени жизни в возбужденном состоянии необходимо, чтобы во время спонтанного излучения не было дополнительной подкачки излучающего уровня, то есть необходимо, чтобы время свечения лампы накачки было меньше среднего времени жизни атомов в возбужденном состоянии. Разряд в лампе накачки поджигается при нажатии выносной кнопки. Сигнал спонтанного излучения рубинового кристалла и свечения лампы накачки регистрируется ФЭУ и поступает на экран монитора. Для питания ФЭУ используется выпрямитель ВСВ-2.

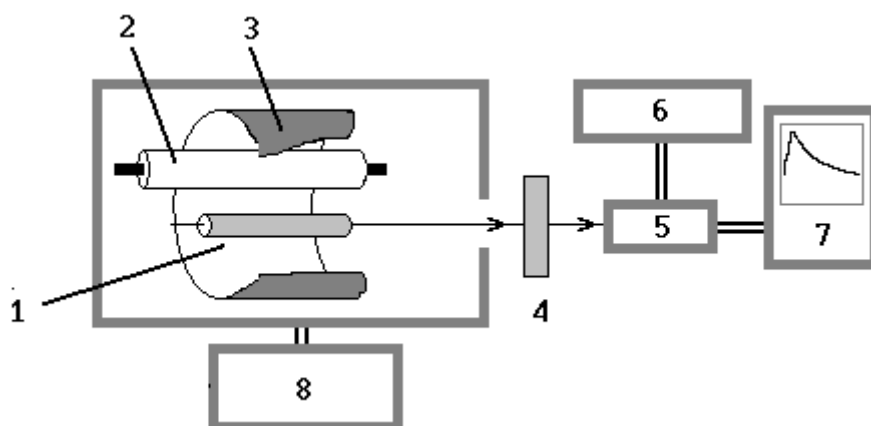


Рис. 19. Блок-схема установки для упражнения 4.

1-рубиновый кристалл; 2- лампа накачки; 3- эллиптический отражатель; 4- светофильтр; 5- ФЭУ; 6- блок питания ФЭУ; 7- компьютер с осциллографической платой (АЦП); 8- блок питания лампы накачки .

Порядок выполнения упражнения.

1. Включить питание лазерного блока (на торцевой панели), и выпрямитель ВСВ-2.
2. Привести компьютер в состояние готовности.
3. Нажатием выносной кнопки поджечь разряд в лампе накачки и наблюдать на экране монитора сигнал спонтанного перехода $2 \rightarrow 1$, и сигнал излучения лампы накачки.

Задание

1. Срисовать с экрана монитора сигнал спонтанного перехода, определить время жизни атомов в возбужденном состоянии, убедиться в том, что его интенсивность убывает по экспоненциальному закону.

Согласно формуле (5) общего «Введения», интенсивность спонтанного излучения должна убывать по закону

$$J(t) = J_0 \exp(-t / \tau);$$

где τ - время жизни уровня, J_0 - интенсивность в момент времени $t = 0$.

Отсюда

$$\ln \frac{J_i}{J_k} = \frac{t_k - t_i}{\tau};$$

где t_k и t_i произвольные моменты времени.

Используя экспериментальные данные, построить график $\ln J_i / J_k$ от t , убедиться, что зависимость линейна, определить τ .

Примечание: Объем задания по задаче и ее отдельным упражнениям может быть изменен преподавателем, что им отмечается в лабораторном журнале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокофьев В.К. Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов. - М.-Л.: Гостехиздат, 1951.
2. Толанский С. Спектроскопия высокой разрешающей силы. - М.: ИЛ, 1955.
3. Нагибина И.М., Прокофьев В.К. Спектральные приборы и техника спектроскопии. - Л.: Машиностроение, 1967.
4. Фолин К.Г., Гайнер А.В. Динамика свободной генерации твердотельных лазеров. - Новосибирск: Наука, 1979.
5. Микаэлян А.Л., Тер-Микаэлян М.Л., Турков Ю.Г. Оптические квантовые генераторы на твердом теле. - М.: Соврадио, 1967.