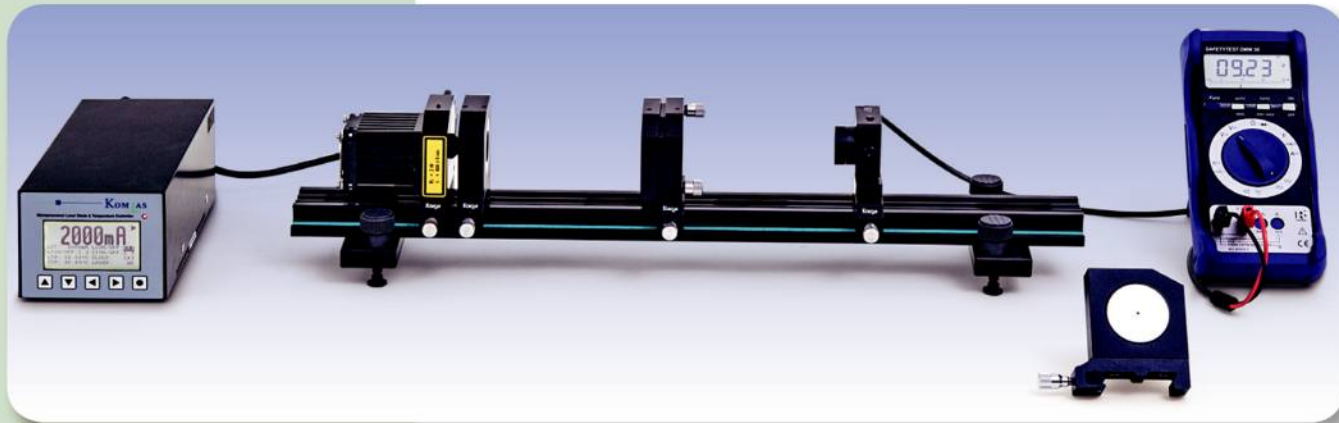


UE4070310

Лабораторная установка для проведения практических занятий по теме «Оптика»

ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Nd:YAG (АЛЮМО-ИТТРИЕВЫЙ ГРАНАТ, ЛЕГИРОВАННЫЙ НЕОДИМОМ)


ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Калибровка диодного лазера для получения устойчивой оптической накачки лазера на основе кристалла Nd:YAG.
- Определение времени жизни верхнего энергетического уровня лазера ${}^4F_{3/2}$ в кристалле Nd:YAG
- Регулировка резонатора и наблюдение режимов резонатора.
- Измерение зависимости выходной мощности лазера на основе кристалла Nd:YAG от мощности накачки и определение порога генерации лазера.
- Наблюдение пикового режима, когда диодный лазер работает в импульсном режиме.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Лабораторная установка используется в учебных целях в университетах для настройки и оптимизации лазера на основе кристалла Nd:YAG

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В этом опыте настраивается и оптимизируется лазер на основе кристалла Nd:YAG с накачкой диодным лазером. После того как диодный лазер откалиброван для получения устойчивой оптической накачки, а резонатор оптимизирован, систему можно использовать в качестве лазера на основе кристалла Nd:YAG. Исследование проводится как в установившемся, так и в неустановившемся режиме работы, и определяется время жизни верхнего лазерного энергетического уровня ${}^4F_{3/2}$ в кристалле Nd:YAG.

В комплект установки входит:

Кол-во	Наименование
1	Драйвер лазерного диода и двухканальный регулятор температуры Dsc01-2.5
1	Оптическая скамья модели KL
1	Диодный лазер мощностью 1000 мВт
1	Кристалл Nd:YAG
1	Коллиматорная линза с фокусным расстоянием $f = +75$ мм
1	Лазерное зеркало I
1	PIN-фотодиод
1	Фильтр RG850
1	Диод установочного лазера
1	Футляр для транспортировки модели KL
1	Защитные очки для работы с лазером на основе кристалла Nd:YAG
1	Универсальный цифровой измерительный прибор P3340
1	Цифровой осциллограф с частотой 4x60 МГц
1	Высокочастотный соединительный шнур, байонетный разъем/4-мм штекер
1	Высокочастотный соединительный шнур
1	Плата ИК-детектора

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Лазер на основе кристалла Nd:YAG - это твердотельный лазер, излучающий в инфракрасном

диапазоне. Рабочей средой этого лазера является кристалл алюмо-иттриевого граната, легированный неодимом. Накачка осуществляется полупроводниковым лазером. Обычно излучаемый свет имеет длину волны 1064 нм.

На Рис.1 показаны энергетические уровни кристаллов Nd:YAG с наиболее важными переходами для

оптической накачки и работы лазера. С помощью оптической накачки, использующей свет с длиной волны приблизительно 808 нм, можно возбудить переходы между основным уровнем (1) и верхним уровнем накачки (4). Время жизни этого состояния очень короткое, и имеют место быстрые переходы без излучения на верхний метастабильный возбужденный лазерный уровень (3). Это предотвращает переходы обратно в основное состояние. Рабочий переход с длиной волны $\lambda = 1064$ нм происходит на нижний возбужденный лазерный уровень (2). Время жизни этого состояния очень короткое, и происходит переход без излучения в основное состояние. Это означает, что каждый из уровней заселен до определенной степени. Но состояния 4 и 2 проходят настолько быстро, что количество атомов в каждом из этих состояний можно принять равным нулю. Это означает, что динамическую характеристику лазера можно описать с помощью следующих скоростных уравнений для инверсной плотности n (разность численной плотности атомов в Nd на энергетических уровнях 2 и 3) и плотности фотонов p поля излучения лазера:

$$(1a) \quad \frac{dn}{dt} = W \cdot (N_{Nd} - n) - \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{n}{\tau_3}$$

$$(1b) \quad \frac{dp}{dt} = \frac{L}{L_{Nd}} \cdot \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \tau_{res}^{-1} \cdot p$$

W : скорость накачки

N_{Nd} : численная плотность атомов Nd

σ : эффективное поперечное сечение излучения или

поглощения фотона

c : скорость света

τ_3 : время жизни возбужденного уровня лазера 3

L : длина резонатора

L_{Nd} : длина кристалла Nd:YAG

τ_{res} : постоянная времени для потерь в резонаторе

В (1a) первый член относится к оптической накачке, второй - к вынужденному излучению, а третий описывает переход с верхнего лазерного уровня со спонтанным излучением. Первый член в (1b) характеризует создание фотона вынужденным излучением, а второй описывает падение плотности фотонов из-за потерь в резонаторе. Для большей точности необходимо также учесть то, что фотоны уже присутствуют при начале процесса вследствие спонтанного излучения. Для установившегося режима работы и без учета спонтанного излучения получаем следующее решение:

$$(2) \quad p = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_3} \cdot \frac{W - W_s}{W_s}$$

где

$$W_s = \frac{1}{\tau_3} \cdot \frac{n_i}{n_i - N_{Nd}} \cdot 0 \cdot \frac{L}{L_{Nd} \cdot \sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

Поэтому скорость накачки должна превышать определенный порог, после которого плотность фотонов линейно возрастает пропорционально скорости накачки. Плотность фотонов и скорость накачки измерить напрямую невозможно. Поэтому в опыте демонстрируется, что выходная мощность лазера PL линейно зависит от мощности накачки, когда та выше определенного порога. На Рис. 2 показаны решения скоростных уравнений для неустановившегося режима работы. В этом случае имеется начальное увеличение инверсной заселенности фотонов. После того как порог инверсии n_i достигнут, плотность инверсной заселенности возрастает линейно. Имеет место быстрое увеличение плотности фотонов, и плотность инверсной заселенности падает до значения, несколько превышающего порог. По мере повторения этого процесса избыточная плотность инверсной заселенности постепенно становится меньше, пока система не приходит в установившееся состояние. Этот так называемый пиковый режим также демонстрируется в данном опыте. Но сначала длина волны диодного лазера, используемого для накачки,

калибруется в соответствии с переходом, где $\lambda = 808$ нм, а затем изменение спонтанной эмиссии со временем измеряется при работе диодного лазера в импульсном режиме (Рис. 3). По результатам этих измерений можно определить время жизни верхнего лазерного уровня. После того как резонатор настроен и откалиброван, можно наблюдать пиковый режим (Рис. 4). Наконец измерятся зависимость выходной мощности от мощности накачки.

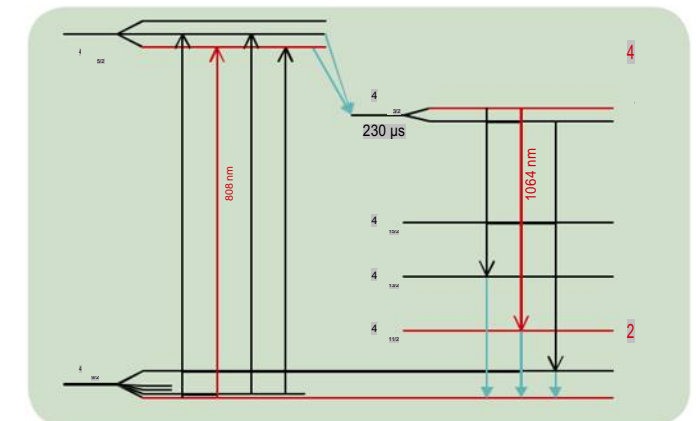


Рис. 1: Схема энергетических уровней кристалла Nd:YAG.

Переходы, которые имеют место в этом опыте, показаны красным

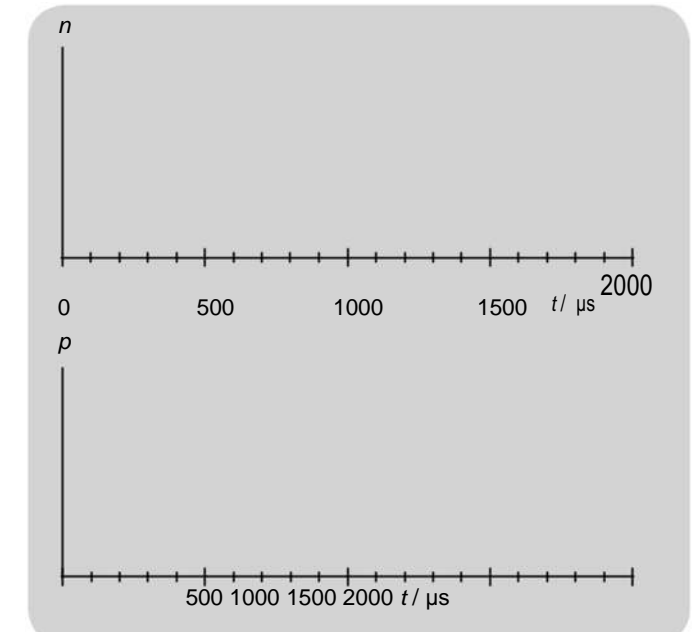


Рис. 2: Нестационарные решения скоростных уравнений (пиковый режим)

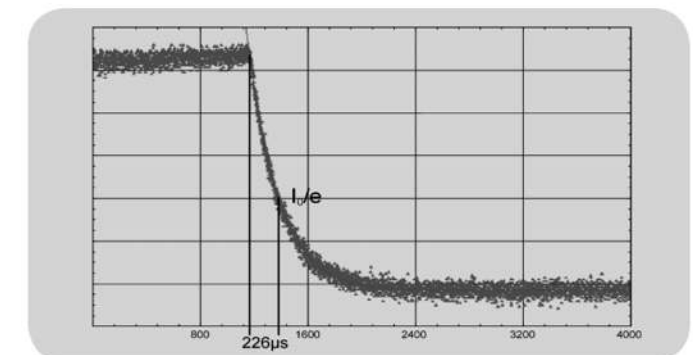


Рис. 3: Измерение спонтанной эмиссии для определения времени жизни верхнего лазерного уровня