

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ФОТОНИКЕ

**Использование твердотельного $YAG : Nd^{3+}$ -лазера
с модуляцией добротности для гравировки
материалов**

выполнили студенты Б04-852 группы ФЭФМ

...

1. Определить величину энергии, которая должна быть в импульсе лазера на YAG:Nd³⁺ (длина волны 1.064 мкм) для того, чтобы испарить 1 мм³ алюминия
2. Рассчитать расходимость пучка диаметром 1 см, генерируемого лазером YAG:Nd³⁺.
3. Оценить минимальный диаметр пучка лазера на YAG:Nd³⁺ при его фокусировке линзой с фокусным расстоянием $f = 20$ см. В какой области вдоль пучка размер перетяжки будет меняться менее чем в $\sqrt{2}$ раз (конфо-кальный параметр), радиус пучка на выходе телескопа лазера 1 см. Считать волновой фронт пучка до линзы плоским.
4. Рассчитать глубину и размеры отверстия, проделанного в алюминии с помощью лазера на YAG:Nd³⁺, работающего в импульсном режиме. Энергию в импульсе и параметры пучка взять из задач 1 и 3.
5. Определить время жизни фотона в резонаторе лазера: длина резонатора – 81.5 см, длина активного элемента – 10 см, показатель преломления граната – 1.8, одно из зеркал глухое, пропускание другого – 20 %, поглощение в активном элементе – 1 %.
6. Определить мощность излучения лазера на YAG : Nd³⁺, работающего в непрерывном режиме. Мощность накачки – 3 кВт, КПД накачки – 20 %, длина резонатора – 81.5 см, длина активного элемента – 10 см, показатель преломления граната 1.8, одно из зеркал глухое, пропускание другого – 20 %, поглощение в активном элементе – 1 %, диаметр активного элемента – 6 мм, время жизни верхнего уровня – 230 мкс, сечение перехода – $2.8 \cdot 10^{-19}$ см², энергия между 0 и 3 уровнями соответствует энергии фотона с длиной волны 808 нм.
7. Рассчитать инверсную населенность на момент открытия модулятора для лазера, мощность накачки – 3 кВт, КПД накачки – 20 %, длина резонатора – 81.5 см, длина активного элемента – 10 см, частота импульсов – 50 кГц, диаметр активного элемента – 6 мм, время жизни верхнего уровня – 230 мкс, энергия между 0 и 3 уровнями соответствует энергии фотона с длиной волны 808 нм.
8. Рассчитать длительность импульса лазера, работающего в режиме модуляции добротности с частотой 50 кГц. Мощность накачки – 3 кВт, КПД накачки – 20 %, длина резонатора – 81.5 см, длина активного элемента – 10 см, показатель преломления граната 1.8, одно из зеркал глухое, пропускание другого – 20 %, поглощение в активном элементе – 1 %, диаметр активного элемента – 6 мм, время жизни верхнего уровня – 230 мкс, сечение перехода – $2.8 \cdot 10^{-19}$ см², энергия между 0 и 3 уровнями соответствует энергии фотона с длиной волны 808 нм.
9. Как зависит энергия в импульсе лазера от мощности накачки?

Для энергии в импульсе известно такое выражение:

$$E = \left(\frac{\ln(R_2)}{2 \ln((1-L)\sqrt{R_1 R_2})} \right) (N_i - N_f)(V_a h \nu), \quad (1)$$

где N_f – инверсия в момент окончания импульса, она намного меньше N_i – инверсии в момент открытия модулятора, для которого справедливо:

$$N_i = \frac{P_{\text{нак}} \eta}{S l h \nu} \tau (1 - e^{-t/\tau}) \quad (2)$$

Видим, что $N_i \sim P_{\text{нак}}$, следовательно $E \sim P_{\text{нак}}$, зависимость линейная, построим ее график (рис. 1):

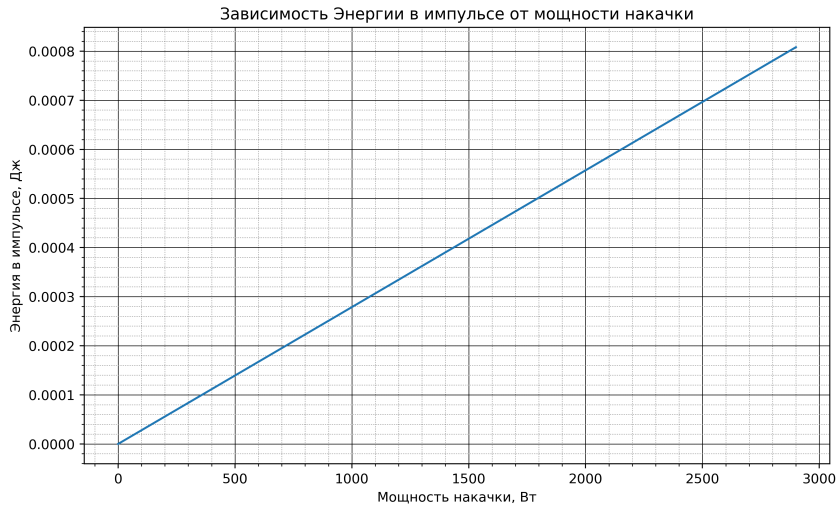


Рис. 1

10. Показать зависимость энергии излучения в импульсе в зависимости от частоты открывания модулятора.

Для энергии в импульсе имеем:

$$E = \left(\frac{\ln(R_2)}{2 \ln((1-L)\sqrt{R_1 R_2})} \right) (N_i - N_f)(V_a h \nu_l), \quad (3)$$

где N_i определяется:

$$N_i = \frac{P_{\text{нак}} \eta}{S l h \nu} \tau (1 - e^{-1/\nu \cdot \tau}) \quad (4)$$

Получаем:

$$N_i \sim 1 - e^{-1/\nu} \quad (5)$$

Что является убывающей функцией от частоты открывания модулятора. Этот вывод можно сделать их соображений, что чем чаще открывается модулятор, тем меньше будет инверсия заселенности, тк будет меньше времени для накачки, соответственно чем меньше заселенность, тем меньше фотонов мы получим и энергия излучения будет меньше. Построим график на рис. 2

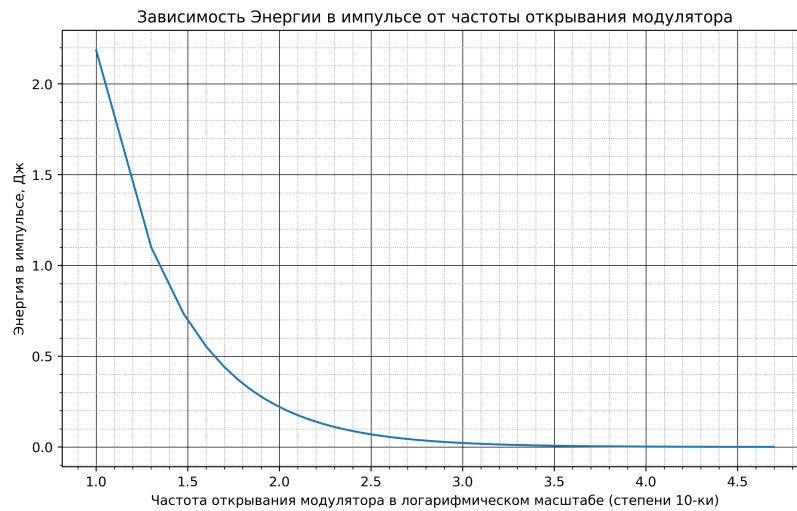


Рис. 2

11. Рассчитать энергию в импульсе и пиковую мощность для лазера из задачи 7.

По формуле (3) определим энергию в импульсе:

$$E_p = 0.00737 \text{ Дж}$$

Значение мощности излучения в импульсе:

$$P_p = \left(\frac{-\ln(R_2)c}{2L_e} \right) (h\nu_l)\Phi_p \quad (6)$$

Пик импульса достигим при максимуме числа фотонов, который достигается при $N_p = N_0$, что видно из графиков рис. 3

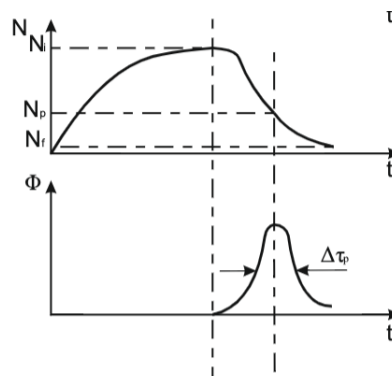


Рис. 3: Зависимость от времени инверсии населенностей и числа фотонов

$$\Phi_p = V_a N_p \left(\frac{N_i}{N_p} - \ln \frac{N_i}{N_p} - 1 \right) \quad (7)$$

Тогда получим для пика мощности импульса:

$$P_p = 42.42 \text{ кВт}$$