

УДК 535.33

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Д.ф.-м.н., проф. Корниенко А.А., к.ф.-м.н., доц. Дунина Е.Б.

Витебский государственный технологический университет

д.ф.-м.н. Грабчиков А.С., с.н.с. Ходасевич И.А.

Витебский государственный университет имени П.М.Машерова

Применение диодных лазеров для накачки сделало возможным создание твердотельных мощных лазеров, работающих в квазинепрерывном режиме. Действие излучения таких лазеров вызывает ап-конверсионную или антистоксовую люминесценцию, когда длина волны люминесценции меньше длины волны возбуждающего излучения. Изучение природы ап-конверсионной люминесценции важно с точки зрения создания ап-конверсионных лазеров и с точки зрения уменьшения потерь и увеличения КПД лазеров, работающих в обычном режиме.

В настоящее время для установления природы ап-конверсионных процессов прежде всего устанавливается необходимое количество резонансных переходов, способных поглощать основное

излучение, и зависимость интенсивности люминесценции от мощности накачки $I_{Lum} = C \cdot I_{in}^n$. Показатель степени n называют показателем ап-конверсии и он соответствует количеству участников одновременно, создающих ап-конверсию. Однако, иногда необходима дополнительная информация для однозначного установления схемы ап-конверсии. Такую дополнительную информацию можно получить, исследуя зависимость пропускания от мощности лазерного излучения. В данной работе приведены основные соотношения, необходимые для моделирования процессов пропускания.

Сначала рассмотрим двухуровневую систему, схема которой приведена на рисунке 1.

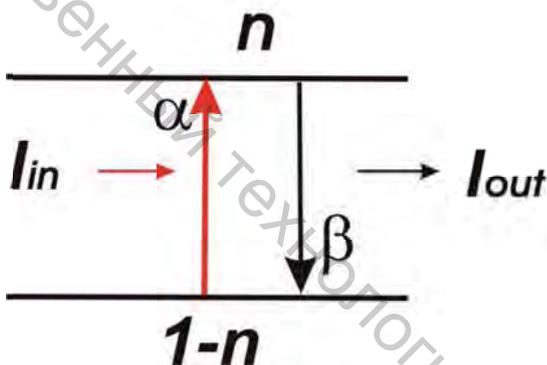


Рисунок 1 – Схема процессов для расчета населенностей и пропускания (transmittance) двухуровневой системы. Здесь введены обозначения I_{in} – интенсивность падающего излучения, I_{abs} – интенсивность поглощаемого излучения, I_{out} – интенсивность излучения на выходе.

Получить формулы для вычисления прозрачности (пропускания) можно воспользовавшись законом сохранения энергии

$$I_{in} = I_{abs} + I_{out}, \quad (1)$$

где I_{in} – интенсивность падающего излучения (накачки), I_{abs} – интенсивность поглощаемого излучения, I_{out} – интенсивность прошедшего излучения.

Интенсивность поглощенного излучения I_{abs} пропорциональна населенности основного уровня

$$I_{abs} = \alpha \cdot (1-n) \cdot I_{in}, \quad (2)$$

где коэффициент α пропорционален сечению поглощения.

Подставим выражение (2) в (1) и вычислим производную по I_{in}

$$1 = -\alpha \frac{dn}{dI_{in}} \cdot I_{in} + \alpha \cdot (1-n) + \frac{dI_{out}}{dI_{in}}. \quad (3)$$

Из (4) получаем дифференциальное уравнение для I_{out} ,

$$\frac{dI_{out}}{dI_{in}} = 1 + \alpha \frac{dn}{dI_{in}} \cdot I_{in} - \alpha \cdot (1-n). \quad (4)$$

решив которое можно вычислить прозрачность I_{out}/I_{in} . Чтобы решить уравнение (4) необходимо сначала получить населенность возбужденного уровня n как функцию I_{in} из уравнения для населенностей

$$\frac{dn}{dt} = \alpha \cdot (1 - n) \cdot I_{in} - \beta \cdot n, \quad (5)$$

где коэффициент β обратно пропорционален времени жизни возбужденного уровня.

В среде «Math» можно легко получить решение уравнения (5) в виде аналитической функции двух

переменных $n = n(I_{in}, t)$. Однако для многоуровневых систем с нелинейными эффектами получить решение в аналитической форме часто не возможно. В таких случаях хорошие результаты можно достичь с помощью следующего алгоритма:

- для конкретных значений I_{in} , взятых с некоторым шагом h из заданного интервала $[0, I_{max}]$, получаем n в численном виде и вычисляем при $t \gg \frac{1}{\beta}$ (см. рисунок 2);

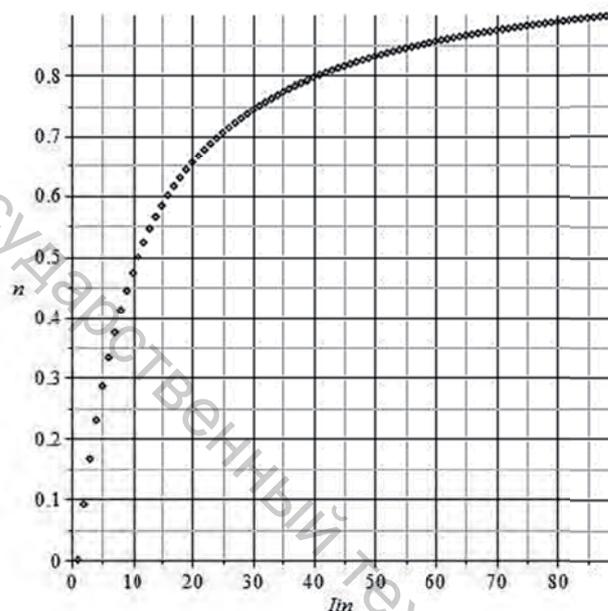


Рисунок 2 – Решение уравнения (5) в численной форме

- табличные значения n аппроксимируем аналитической функцией $n(I_{in})$;
- полученную аналитическую функцию $n(I_{in})$ подставляем в уравнение (4) и определяем $I_{out}(I_{in})$ (см. рисунок 3).

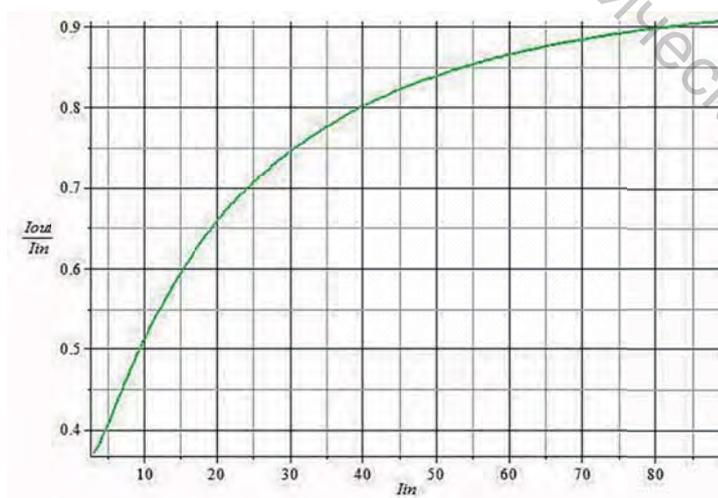


Рисунок 3 – График пропускания I_{out}/I_{in} , полученный на основе решения уравнения (4).

Из рисунков 2 и 3 видно, что по мере насыщения прозрачность системы увеличивается. На качественном уровне такую зависимость прозрачности от I_{in} можно легко понять, так как при насыщении способность поглощать падающее излучение у системы падает. Этот алгоритм был нами успешно применен для вычисления сложного многоуровневого лазерного кристалла YVO_4 .