

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.

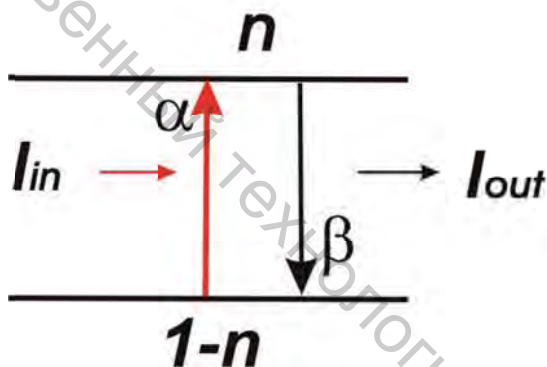


Рисунок 1 – Схема процессов для расчета населенностей и пропускания (transmittance) двухуровневой системы. Здесь введены обозначения  $I_{in}$  – интенсивность падающего излучения,  $I_{abs}$  – интенсивность поглощаемого излучения,  $I_{out}$  – интенсивность излучения на выходе.

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  $\alpha$  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  $\beta$  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);

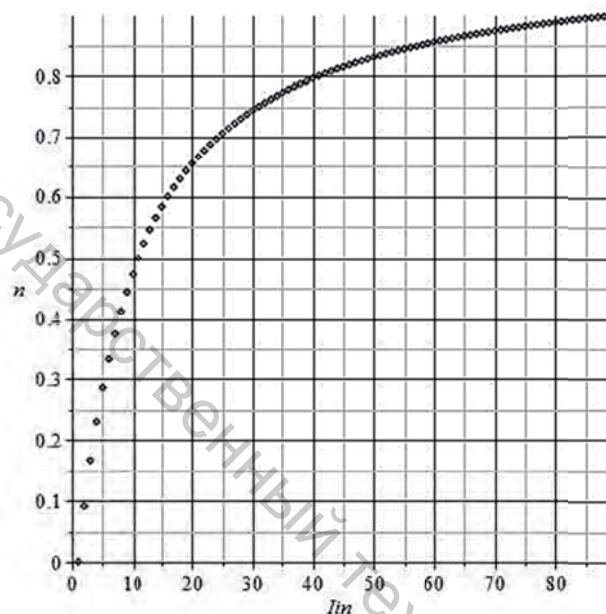


Рисунок 2 – Решение уравнения (5) в численной форме

- 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).

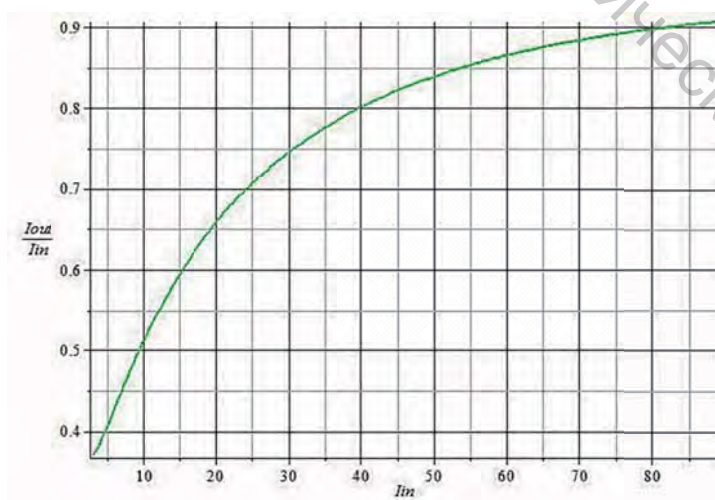


Рисунок 3 – График пропускания  $I_{out}/I_{in}$ , полученный на основе решения уравнения (4).

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  $YVO_4$ .