

Перед началом соревнований очного тура участники прослушали лекцию профессора МГУ А.М.Попова об основах физики лазеров. Затем в течение 36 часов команды школьников, образовавшие временные научные коллективы, в острой конкурентной борьбе пытались найти научно-обоснованное решение задачи «Физика лазеров». На защите задания очного тура отличились команда Самарского аэрокосмического лицея (СМАЛЛ), которая стала победителем этого тура, а также команды ФМЛ 1511 при МИФИ и Многопрофильной гимназии 4 города Норильска, представившие наиболее глубокие результаты исследования работы лазерных систем.

Абсолютным победителем турнира стала команда ФМЛ 1511 при МИФИ, получившая переходной приз «Хрустальный глобус». Дипломами I степени награждены команды ФМЛ 1511 при МИФИ, СМАЛЛ и Многопрофильной гимназии 4 города Норильска. За высокие достижения жюри отметило дипломами II степени команды Самарской областной ФМШ и Классической гимназии 1 Ростова-на-Дону. Диплом III степени получила команда ФМЛ 1580 при Московском государственном техническом университете (МГТУ) им. Н.Э.Баумана. Участникам соревнований были также вручены многочисленные призы от спонсоров и организаторов турнира.

Международный интеллект-клуб «ГЛЮОН» приглашает региональные центры, гимназии и школы, работающие с одаренными детьми, принять участие в следующем, VII Международном турнире «Компьютерная физика», который пройдет в феврале 2003 года в городе Пущино (Московская область).

Теперь – о содержательной части соревнований.

Очный тур. «Физика лазеров»

Лазеры – это уникальные источники оптического излучения, позволяющие получать предельно высокие интенсивности излучения, малые длительности и высокую степень когерентности. Принцип работы лазеров основан на явлении вынужденного излучения, предсказанного А.Эйнштейном в 1917 году и заключающегося в усилении пучка света при прохождении его через среду с инверсной заселенностью.

Под инверсной заселенностью среды понимается такая ситуация, когда число атомов в некотором состоянии с энергией E_2 оказывается больше, чем число атомов в нижележащем состоянии с энергией E_1 ($E_2 > E_1$). Часто для получения лазерной генерации используется так называемая четырехуровневая схема накачки (рис.1). Некоторый источник (лампа-вспышка, газовый разряд или т.п.) переводит

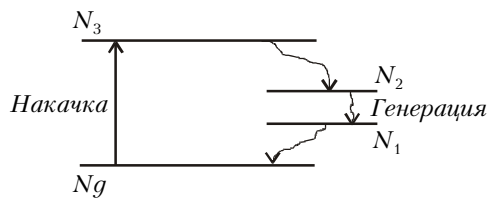


Рис.1. Четырехуровневая схема накачки лазера

атомы из основного состояния N_g в состояние N_3 , откуда они быстро релаксируют в состояние N_2 , являющееся верхним рабочим уровнем лазера. При этом оказывается, что населенность уровня N_2 больше, чем уровня N_1 , т.е. на переходе между уровнями N_2 и N_1 возникает инверсия населенностей. На этом переходе и происходит генерация с частотой $\omega = (E_2 - E_1)/\hbar$ где \hbar – постоянная Планка. Рабочая среда лазера подбирается так, что переходы 3–2 и 1–0 происходят быстро (мгновенно). Тогда можно считать,

что $N_3 \approx N_1 = 0$, а концентрация на уровне N_2 и определяет инверсию.

В рассматриваемом случае динамика лазерной генерации описывается следующими уравнениями:

$$N_g + N_2 = N_0,$$

$$\frac{dN_2}{dt} = WN_g - \sigma_\phi c q N_2 - \frac{N_2}{\tau},$$

$$\frac{dq}{dt} = \sigma_\phi c N_2 q - \frac{q}{\tau_\phi},$$

где q – это число фотонов в единице объема, τ_ϕ – время жизни фотона в системе, σ_ϕ – сечение фотопоглощения, τ – время релаксации инверсии, W – скорость создания инверсии внешним источником, N_0 – полная концентрация рабочих атомов, c – скорость света.

Время жизни фотона в системе определяется выражением

$$\tau_\phi = \frac{2L}{c(1-R)},$$

где L – расстояние между зеркалами оптического резонатора лазера, R – коэффициент отражения одного зеркала. Интенсивность излучения внутри резонатора связана с плотностью фотонов соотношением $I_\phi = q c \hbar \omega$. Интенсивность выходного излучения равна $I = I_\phi (1 - R)$. Типичные значения параметров для широко распространенных лазеров (гелий-неонового и неодимового), работающих по четырехуровневой схеме в ближнем инфракрасном диапазоне, даны в таблице.

Генерация лазера может происходить в режиме модулированной добротности. Для этого в начальный момент времени одно из зеркал убирают, и в течение некоторого времени после накачки в среде создается высокий уровень инверсной заселенности. В момент, когда вводится зеркало, в системе возникает генерация, уровень которой определяется накопленной инверсией.

Таблица

Тип лазера	σ_ϕ , см ²	τ , с	N_0 , см ⁻³
He : Ne, $\lambda = 1,15$ мкм	$5,5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{15}$
Nd ³⁺ : YAg, $\lambda = 1,06$ мкм	$8,8 \cdot 10^{-19}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{19}$

Задание

1) Исследуйте зависимости от времени величины инверсной заселенности N_2 и интенсивности излучения (плотности фотонов) в резонаторе неодимового лазера при условии мгновенного включения внешнего источника накачки ($W = \text{const}$ в диапазоне до 1 с^{-1}). Предположите, что $1 - R = 0,01$, $L = 2,5$ см. При каком коэффициенте R величина выходной мощности излучения будет максимальной?

2) Выполните пункт 1) для гелий-неонового лазера при $L = 1$ м, $1 - R = 0,01$.

3) Опишите параметры импульса генерации, возникающей в режиме модулированной добротности при введении зеркала в систему неодимового лазера.

Разбор задания

Система уравнений лазерной генерации имеет два стационарных, независящих от времени решения: первое при $q = 0$ и второе при $N_2 = 1/(\sigma_\phi c \tau_\phi)$, которое определяет пороговое значение инверсной населенности. Для решения данной