

ЭФФЕКТ ПОДАВЛЕНИЯ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СМЕЖНОМ ПЕРЕХОДЕ

Э.А.Манькин, Н.В.Знаменский, Д.В.Марченко, Е.А.Петренко

*Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова
123182, Москва*

Поступила в редакцию 11 июня 1991 г.

Наблюден эффект стимулированного фотонного эха (СФЭ) совместно с генерацией когерентного излучения на смежном переходе в кристалле $\text{LaF}_3 : \text{Pr}^{3+}$. При точном резонансе возбуждение генерации приводит к полному подавлению сигнала СФЭ. Теория на основе уравнений Максвелла - Блоха хорошо описывает все основные особенности когерентного излучения.

Хорошо известно, что когерентное возбуждение любой атомной системы с неоднородным уширением последовательностью трех ультракоротких оптических импульсов, резонансных некоторому переходу $|1\rangle - |3\rangle$, приводит к возникновению эффекта стимулированного фотонного эха (часто используется также название "time delay four-wave mixing")¹. С другой стороны каждый импульс накачки может создать инверсную населенность между возбужденным состоянием системы $|3\rangle$ и каким-нибудь ниже расположенным промежуточным состоянием системы $|2\rangle$, приводя к генерации когерентного излучения на этом переходе. В нашей работе наблюдалось одновременное существование этих двух явлений и изучено их взаимное влияние.

В качестве рабочей среды использовался кристалл $\text{LaF}_3 : \text{Pr}^{3+}$ с плоскопараллельными гранями, толщиной 2 мм и концентрацией иона Pr^{3+} 0,5 ат.%, охлажденный до температуры 4,5К. Его возбуждение на переходе ${}^3\text{H}_4 - {}^3\text{P}_0$ иона Pr^{3+} осуществлялось лазером на красителях с перестраиваемой частотой, накачиваемым XeCl^* -лазером. С помощью системы делительных зеркал и линии задержки формировались три импульса возбуждающего излучения, имеющие почти прямоугольную форму с длительностью по основанию 17 ± 2 нс и разнесенные во времени друг относительно друга на величину 45 ± 2 нс и 165 ± 2 нс. Интенсивность их всех была одинакова и могла достигать на входе в кристалл значений $I_L \simeq 100$ МВт/см², что соответствует площади импульса $\theta_L \simeq 10\pi$. Для выполнения условий пространственного синхронизма второй и третий импульс направлялись навстречу друг другу. В этом случае сигнал СФЭ распространялся в направлении противоположном направлению распространения первого импульса. Ширина линии лазерной генерации $\Delta\omega_L/2\pi c \simeq 0,08$ см⁻¹, что значительно меньше экспериментально измеренной неоднородной ширины перехода ${}^3\text{H}_4 - {}^3\text{P}_0$, составляющей при $T = 4,5\text{K}$ $\frac{\Delta\omega_H}{2\pi c} \simeq 0,4$ см⁻¹.

При перестройке частоты накачки ω_L в окрестностях резонанса ${}^3\text{H}_4 - {}^3\text{P}_0$ были одновременно зарегистрированы стимулированное фотонное эхо и когерентное излучение на смежном переходе ${}^3\text{P}_0 - {}^3\text{H}_6$ (рис. 1), возможность существования которого впервые была предсказана в² и ранее наблюдавшееся в³. Длительность последнего составляла $2 \div 3$ нс, а порог его возбуждения $I_{L1}^{\text{пор}} \simeq 18$ МВт/см². При $I_L \gg I_{L1}^{\text{пор}}$ оно развивалось на переднем фронте возбуждающего импульса; при этом на заднем фронте наблюдался второй импульс генерации. С уменьшением I_L импульс вынужденного излучения посте-

пенно смещался в конец импульса накачки. Построенная на основе уравнений Максвелла - Блоха теоретическая модель хорошо описывала наблюдавшиеся особенности временного поведения вынужденного излучения на переходе ${}^3P_0 - {}^3H_6$.

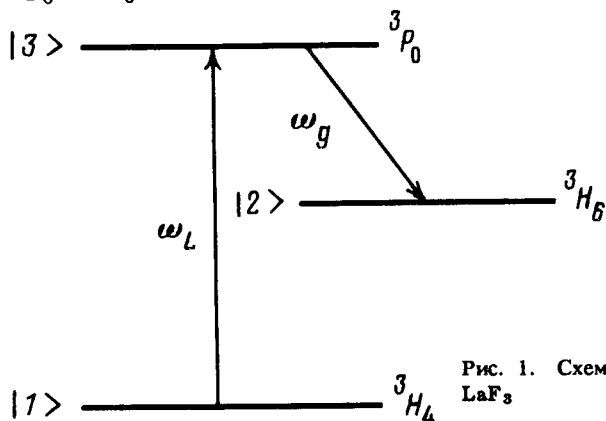


Рис. 1. Схема энергетических уровней иона Pr^{3+} в LaF_3

Сигнал стимулированного фотонного эха появлялся при значениях $I_{L2}^{\text{пор}} \approx 600$ кВт/см^2 ($\theta_L \approx 0,7\pi$). С ростом I_L его интенсивность I_e также возрастала. Однако, после появления вынужденного излучения на смежном переходе рост I_e вначале замедлялся, а затем наблюдалось уменьшение интенсивности эхо-сигнала. В то же время интенсивность вынужденного излучения I_g с ростом I_L возрастала по закону близкому к экспоненциальному. Сказанное иллюстрирует рис.2, на котором представлены результаты измерений I_e и I_g в зависимости от I_L .

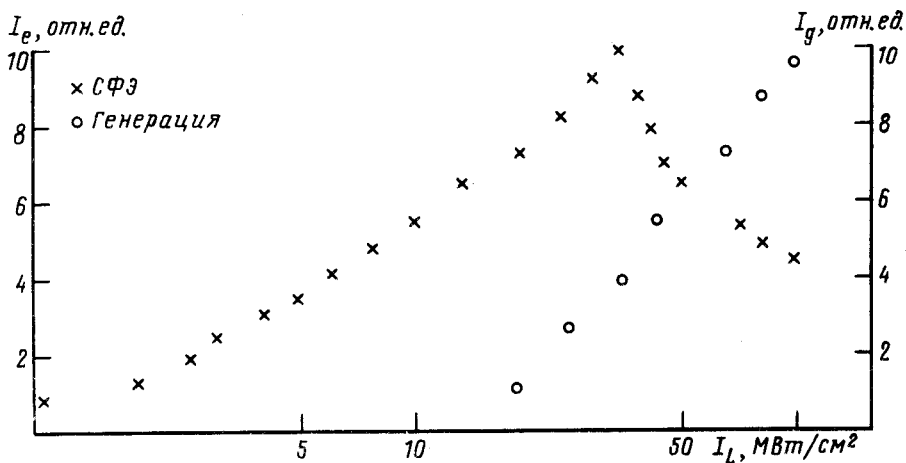


Рис. 2. Зависимости интенсивностей эхо-сигнала I_e и когерентного излучения на смежном переходе I_g от интенсивности возбуждающего лазера I_L

Были также проведены исследования зависимости I_e и I_g от расстройки Δ частоты накачки от резонанса ($\Delta = \frac{\omega_0 - \omega_L}{2\pi c}$, где ω_0 - частота перехода ${}^3H_4 - {}^3P_0$). Установлено, что в области расстроек Δ , где возбуждается когерентное излучение, I_e уменьшалось (см. рис. 3). При этом, как следовало ожидать, I_g достигала максимума в условиях точного резонанса. В то же время при $I_L < I_{L1}^{\text{пор}}$ т.е. когда генерация не возбуждалась, провала в частотной зависимости интенсивности эхо-сигнала зарегистрировано не было.

Наконец, следует отметить, что при использовании кристалла $\text{LaF}_3 : \text{Pr}^{3+}$ с

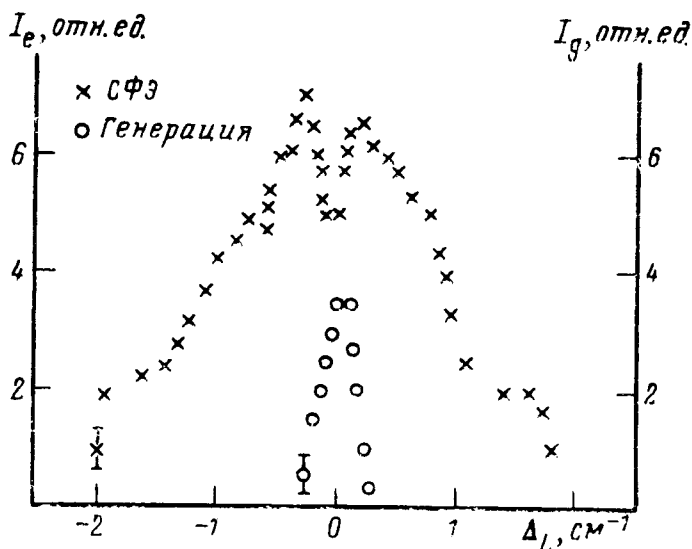


Рис. 3. Зависимости интенсивностей эхо-сигнала I_e и когерентного излучения на смежном переходе I_g от расстройки Δ частоты накачки от резонанса с переходом ${}^3H_4 - {}^3P_0$

большей концентрацией иона Pr^{3+} (1 ат.%), где эффективность возбуждения генерации на смежном переходе была выше, имело место полное подавление сигнала стимулированного фотонного эха в условиях точного резонанса.

Можно предложить следующий механизм такого подавления. Хорошо известно, что интенсивность сигнала стимулированного фотонного эха определяется наличием в среде пространственной решетки населенностей, образующейся как на основном, так и на верхнем уровнях под действием двух первых импульсов накачки. Ее размытие, обычно связанное с релаксационными процессами, приводит к уменьшению интенсивности эхо-сигнала.

В условиях нашего эксперимента размытие решетки населенностей на уровне 3P_0 , по-видимому, обусловлено возникающей с него генерации на промежуточный 3H_6 уровень. Скорость такого процесса чрезвычайно высока и в резонансных условиях составляет не менее $(3 \div 5) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$. Размытие решетки в основном состоянии, по-видимому, связано с быстрыми релаксационными процессами с уровня 3H_5 . Подтверждением тому является наблюдаемая в эксперименте генерация, развивающаяся в начале и в конце импульса накачки при $I_L \gg I_{L1}^{\text{пор}}$, что позволяет утверждать о малом времени жизни (не более 15 нс) на уровне 3H_5 .

В заключение отметим, что обнаруженный в настоящей работе эффект подавления СФЭ при возбуждении когерентного излучения на смежном переходе может быть с успехом использован при разработке методов оперативного стирания информации в оптических запоминающих устройствах.

1. Манькин Э.А., Самарцев В.В. Оптическая эхо-спектроскопия. М.: Наука, 1984.
2. Беленов Э.М., Ораевский А.Н., Щеглов В.А. ЖЭТФ, 1969, 56, 2143.
3. Kichinski R., Moshary F., Hartmann S.R. AIP Conf. Proc., 1986, 146, 417.