

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ЛЕТАРГИИ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

О.П. Варнавский, В.В. Головлев, А.Н. Киркин, А.М. Можаровский

УДК 535.345.1

Зарегистрирован переход от когерентного усиления к некогерентному в рубине при 100 К по мере увеличения длительности усиливаемого импульса. Для импульсов короче времени расфазировки усиление было в 5 раз ниже стационарного значения, определяемого законом Бэра.

Описание усиления светового импульса с помощью балансных уравнений возможно, только если в процессе усиления успевают произойти расфазировка атомных диполей. В этом случае поляризация среды пропорциональна электрическому полю импульса. Такая ситуация обычно имеет место в оптических квантовых генераторах и усилителях. При этом в линейном режиме, т.е. при неизменной заселенности уровней активного перехода, происходит экспоненциальное нарастание сигнала (закон Бэра) без изменения формы импульса. Существенно иной характер усиление приобретает, если длительность импульсов короче времени фазовой релаксации (когерентное усиление). Как показано в /1/, в этом случае в линейном режиме имеет место усиление по закону, отличному от экспоненциального. Такое отклонение от закона Бэра для слабых сигналов было названо лазерной летаргией /2/. Экспериментально этот эффект зарегистрирован в газах в далеком ИК диапазоне /3/.

Когерентное усиление импульсов малой площади тесным образом связано с формированием импульса сверхизлучения в инвертированной среде /4, 5/. Режим когерентного усиления определяется соотношениями между длительностью импульса τ_p , временем сверхизлучения усиливающей среды τ_R и временем фазовой релаксации T . Роль в расфазировке однородного и неоднородного уширений спектральной линии различна для импульсов большой ($\sim \pi$) и малой ($\ll \pi$) площади. При рассмотрении взаимодействия импульсов малой площади с резонансной системой в качестве T необходимо взять время, отвечающее полной эффективной ширине линии ($1/T = 1/T_2 +$

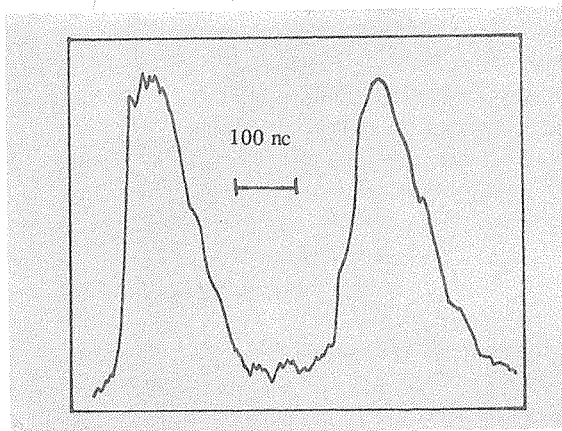
+ $1/T_2^*$ для лоренцова профиля неоднородного уширения; T_2 и T_2^* — время на дефазировки, связанные с однородным и неоднородным уширением) /1/.

При $\tau_p \ll \tau_R < T$ может наблюдаться режим индуцированного сверхизлучения /5/, когда слабый входной импульс инициирует импульс сверхизлучения в усиливающей среде. При $\tau_R < \tau_p \sim T$ импульс сверхизлучения подавляется из-за расфазировки и имеет место летаргическое усиление, при котором можно пренебречь изменением заселенности уровней /6/. Если же τ_p становится больше T , то происходит переход от летаргического усиления к обычному некогерентному экспоненциальному усилению /7/. В нашей работе /6/ экспериментально исследовано когерентное усиление импульсов малой площади в условиях $\tau_R \approx \tau_p < T$. Целью данной работы было проследить переход от когерентного усиления к некогерентному при увеличении длительности импульса.

Используемая экспериментальная установка была аналогична описанной в /6/. Импульсы лазера на рубине при 100 К с самосинхронизацией мод ослаблялись нейтральным фильтром, пропускались через интерферометр Фабри — Перо, служивший для формирования длинных импульсов, и вводились в усиливающий рубиновый кристалл длиной 12 см с однопроходовым усилением ≈ 240 (в линейном некогерентном режиме). Меняя базу интерферометра и коэффициент отражения его зеркал, можно было регулировать длительность входного импульса в пределах 20 — 500 пс. Температура усиливающего стержня составляла ≈ 100 К. Как показали измерения температурной зависимости ширины линии люминесценции, время фазовой релаксации при этом определялось в основном неоднородным уширением перехода и составляло ~ 50 пс. Плотность энергии усиленного импульса не превышала 20 мДж/см^2 , что было значительно меньше энергии насыщения перехода. Форма импульса до и после усиления определялась с помощью электронно-оптической камеры (ЭОК) с разрешением 20 пс. Для измерения энергии использовались калориметры ВЧД-2.

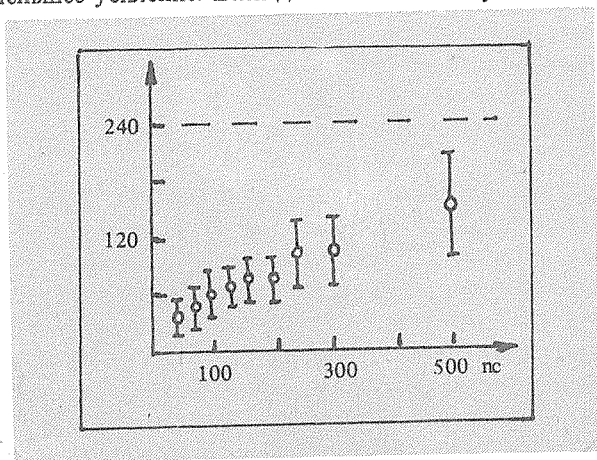
На рис. 1 приведена денситограмма снимка с экрана ЭОК. Длительность переднего фронта исходного импульса короче T . В процессе усиления происходит увеличение этой длительности. Аналогичная деформация импульса была получена в /7/ при теоретическом исследовании влияния релаксации на летаргическое усиление. На частотном языке деформацию переднего фронта можно объяснить искажением широкополосного спектра сигнала при прохождении через узкополосный усилитель. На временном языке она интерпретируется как проявление конечного времени развития когерентной макроскопической поляризации в среде. Мгновенный коэффициент усиления по

мощности не является постоянным по длине импульса и увеличивается по мере перемещения от переднего фронта к заднему.



Р и с. 1. Денситограммы импульсов до (слева) и после (справа) усиления в кристалле рубина.

На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость усиления по энергии от длительности исходного импульса. Более коротким импульсам соответствует меньшее усиление. Если длительность импульсов становится больше T ,

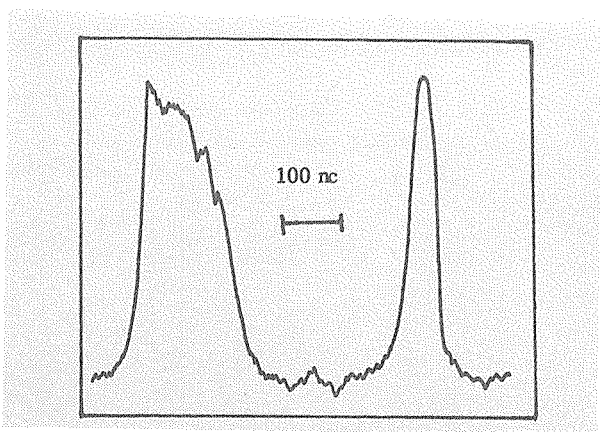


Р и с. 2. Зависимость усиления по энергии от длительности импульса.

то когерентное усиление переходит в некогерентное и коэффициент усиления приближается к стационарному значению 240. Это качественно согласуется с теоретическими представлениями, развитыми в работах /1, 2, 7/. Измеренные значения усиления для наиболее коротких (20–30 пс) импульсов, по-видимому, несколько завышены из-за развития индуцированного сверхизлучения /4/. Как показано нами в /6/, в данных условиях импульс сверхизлучения хоть и подавлен из-за фазовой релаксации, но тем не менее дает заметный вклад в общую энергию, измеряемую калориметром. Для наиболее длинных импульсов измеренные значения могут быть занижены из-за неидеальной спектральной селекции интерферометра Фабри – Перо и остаточной частотной модуляции во входном излучении. Указанные обстоятельства не позволяют провести количественное сопоставление измеренных значений усиления с расчетными, хотя общая тенденция к увеличению усиления с удлинением импульса проявляется вполне определенно.

Итак, в данной работе зарегистрированы отклонения от экспоненциального закона при когерентном усилении ультракоротких импульсов малой площади (летаргическое усиление). Полученные результаты легко интерпретировать, используя спектральный подход. При усилении широкополосного сигнала в узкополосном усилителе усиливаются лишь спектральные компоненты, попадающие в полосу усиления. Это обуславливает менее эффективное по сравнению с законом Бэра усиление.

Интересно, что родственные эффекты проявляются при распространении импульсов с длительностью порядка T через поглощающую среду. В этом



Р и с. 3. Денситограммы импульсов до (слева) и после (справа) прохождения через поглощающий кристалл рубина.

случае поглощаются в первую очередь спектральные компоненты, попадающие в центральную часть полосы поглощения, и спектр излучения уширяется, что соответствует укорочению импульса. На рис. 3 приведены денситограммы, характеризующие прохождение импульса площадью $\pi/100$ с крутым передним фронтом через поглощающий образец рубина, имеющий максимальное бэровское поглощение в центре линии ≈ 200 . Аналогично тому, как в инвертированной среде усиление возрастает со временем в течение импульса, так в данном случае имеет место развитие поглощения с некоторым запаздыванием и переход от летаргии к некогерентному поглощению. Пиковая мощность излучения падает всего в три раза, хотя за счет сильного укорочения импульса изменение энергии является значительным.

Зарегистрированные в данной работе проявления лазерной летаргии могут оказаться полезными при формировании ультракоротких импульсов как в поглощающих, так и в усиливающих средах.

Авторы благодарны М.Б. Попову за помощь в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию 6 июня 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crisp M.D. Phys. Rev., A 1, 1604 (1970).
2. Hopf F.A. et al. Phys. Rev. Lett., 35, 511 (1975).
3. Chung H.K., Lee J.B., DeTemple T.A., Opt. Commun., 39, 105 (1981).
4. Polder P., Schuurmans M.F.H., Vreken Q.H.F. Phys. Rev., A 19, 1192 (1979).
5. Malikov R.F., Trifonov E.D. Opt. Commun., 52, 74 (1984).
6. Варнавский О.П. и др. Письма в ЖЭТФ, 41, 9 (1985).
7. Benedict M.G., Trifonov E.D. Acta Phys. et Chim. Szeged, Hungary, 30, 3 (1984).