

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ТИПА: УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ЗАТРАВОЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П.А.Прудковский, А.Н.Пенин

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова¹⁾
119899 Москва, Россия

Поступила в редакцию 18 октября 1999 г.

На основании экспериментально полученных временных зависимостей интенсивности параметрического рассеяния голографического типа, индуцированного искусственно созданным затравочным излучением в фоторефрактивном кристалле ниобата лития, делается вывод о независимости яркости естественного затравочного излучения от интенсивности накачки, что свидетельствует в пользу его квантового происхождения.

PACS: 42.40.Pa, 42.50.Lc, 42.65.Hw

Последние годы неуклонно растет интерес к достаточно сложным системам типа химических автоколебательных реакций [1] или многокомпонентных полимеров [2], что связано с прогрессом как в области их применения, так и в теории самоорганизации и динамического хаоса. Еще одним примером подобных структур могут служить фоторефрактивные среды, широко использующиеся в наши дни в области динамической голографии. Одним из первых явлений самоорганизации в подобных средах можно считать обнаруженное в середине восьмидесятых годов параметрическое рассеяние голографического типа (ПРГТ) [3], характеризующееся выделением узкоуглового вырожденного по частоте рассеяния света из широкоуглового фотоиндуцированного рассеяния света (ФИРС), вызванного оптическим повреждением. Однако несмотря на многолетнюю историю изучения и широкое применение фоторефрактивных сред, в теории фоторефракции до сих пор используются лишь феноменологические модели, что объясняется сложностью построения математических моделей явления, учитывающих весь спектр характерных времен от пикосекунд до минут или даже часов для таких сред как ниобат или танталат лития, легированных атомами меди или железа.

В результате ряд явлений в фоторефрактивных средах не может быть объяснен в рамках существующей теории фоторефракции. Одним из нерешенных вопросов является проблема природы затравочного излучения ПРГТ и ФИРС. Несмотря на то, что более десяти лет назад были предложены как минимум три его возможных источника: рэлеевское рассеяние накачки на неоднородностях тензора диэлектрической проницаемости или фотогальванического тензора [4], фликкер-шум интенсивности накачки [5] и вакуумные флуктуации электромагнитного поля [6], до сих пор нет достаточной ясности в вопросе его происхождения.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию динамических зависимостей интенсивности ПРГТ, позволяющих сделать определенные выводы о его затравочном излучении, свидетельствующие в пользу его универсального квантового происхождения, хотя окончательный вывод о его природе может быть сделан лишь после появления последовательной теории, объясняющей механизм его возникновения.

¹⁾ e-mail: postmast@qopt.ilc.msu.su

ФИРС и ПРГТ объясняются записью множества голографических решеток, вызванной интерференцией накачки с так называемым затравочным излучением, природа которого до сих пор не ясна, и их дальнейшим самосогласованным усилением. В работе [6] описан метод измерения яркости затравочного излучения ПРГТ, использующий условие четырехволнового фазового синхронизма, справедливое для этого рассеяния, выполнение которого в сегнетоэлектрических кристаллах типа танталата или ниобата лития возможно за счет их анизотропии. Например, для ПРГТ *ee-oo*-типа в $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ справедливо условие

$$\mathbf{q} = \mathbf{k}_P^e - \mathbf{k}_{S_1}^o = \mathbf{k}_{S_2}^o - \mathbf{k}_P^e,$$

где \mathbf{k}_P и \mathbf{k}_S — волновые векторы накачки и рассеянного света, соответственно, верхние индексы определяют тип поляризации, а \mathbf{q} — волновой вектор голографической решетки, ответственной за рассеяние света сразу в двух направлениях. Поэтому если искусственно создавать затравочное излучение, подсвечивая дополнительным пучком света в одном из направлений рассеяния (например, в направлении $\mathbf{k}_{S_1}^1$), то в сопряженном ему направлении рассеяния ($\mathbf{k}_{S_2}^2$) развитие ПРГТ будет определяться процессом записи голографической решетки, соответствующей заданной яркости затравочного излучения. Различие между временными зависимостями развития ПРГТ в присутствии и без дополнительного пучка света позволяет определить превышение яркости этого пучка света над яркостью естественного затравочного излучения. С помощью данного метода в работе [6] была измерена яркость затравочного излучения, и на основе анализа яркости различных типов рассеяния был сделан вывод о квантовой природе затравочного излучения. Однако использованный метод крайне неточен, ибо имеет дело с абсолютными значениями яркости. В данной работе был применен усовершенствованный метод исследования затравочного излучения, имеющий дело только с относительными значениями и апеллирующий к качественным, а не количественным особенностям полученных экспериментальных результатов.

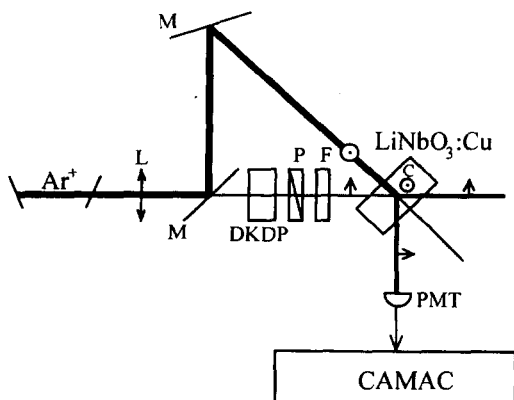


Рис.1. Схема экспериментальной установки: Ar^+ — аргонный лазер, L — длиннофокусная линза, M — зеркала, $DKDP$ — двулучепреломляющий кристалл дигидрофосфата, P — поляризатор, F — фильтр, $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ — фоторефрактивный кристалл ниобата лития, C — его оптическая ось, PMT — фотоэлектронный умножитель

На рис.1 показана схема экспериментальной установки. На $x-z$ -поверхность кристалла ниобата лития, легированного атомами меди, нормально падает необыкновенно поляризованный луч аргонного лазера. Слабый пучок света, отщепленный от накачки на одном из зеркал, проходя через фильтр и систему кристалл $DKDP$ — поляризатор, поворачивающей его поляризацию на 90° , падает в ту же точку фоторе-

фрактивного кристалла под углом, соответствующим углу ПРГТ $\theta = \arccos(k^e/k^o)$, определенным из условия синхронизма. Зависимость интенсивности рассеяния ПРГТ в сопряженном направлении от времени регистрируется с помощью электронной системы, включающей ФЭУ, крейт КАМАК и ЭВМ IBM PC AT386. Интенсивность дополнительного пучка света связана с интенсивностью накачки отношением коэффициентов пропускания и отражения зеркала $\eta_1 = T/R \approx 0.02$ и коэффициентом пропускания фильтра η_2 .

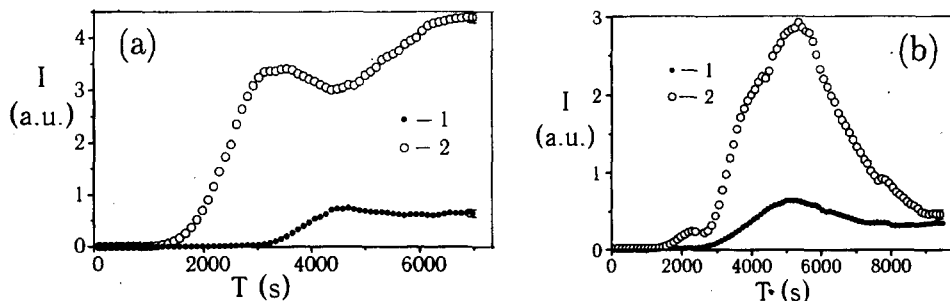


Рис.2. Временные зависимости интенсивности ПРГТ при мощности накачки $P_L \approx 2$ мВт без (1) и в присутствии (2) дополнительного пучка света, ослабленного фильтром в $\eta_2^{-1} = 32$ (а) и $\eta_2^{-1} = 250$ (б) раз

На рис.2 показаны типичные временные зависимости интенсивности ПРГТ при мощности лазерной накачки $P_L \approx 2$ мВт в присутствии дополнительного пучка света ($\eta_2^{-1} = 32$ и $\eta_2^{-1} = 250$) и без него. Легко видеть, что в присутствии дополнительного пучка света ПРГТ развивается быстрее и достигает больших значений интенсивности, что означает, что яркость этого пучка значительно превышает яркость естественного затравочного излучения. При уменьшении коэффициента пропускания фильтра разница между двумя зависимостями уменьшается и практически исчезает при $\eta_2^{-1} = 2 \cdot 10^3$ (рис.3). При этом интенсивность дополнительного пучка составляет примерно $I_0 = \eta_1 \eta_2 P_L / S \approx 2$ мкВт/см², где $S \approx 10^{-2}$ см² — площадь сечения дополнительного пучка. Используя полученное значение интенсивности, легко вычислить яркость затравочного излучения: $I_{\omega\Omega} = I_0 / \Delta\omega\Delta\Omega \approx 10^{-9}$ Вт/см² · с⁻¹ · ср, где $\Delta\omega = 5 \cdot 10^8$ с⁻¹ и $\Delta\Omega = 4 \cdot 10^{-6}$ ср — спектральная и угловая ширина дополнительного пучка света. Аналогичные зависимости были получены для мощности накачки $P_L \approx 20$ мВт (рис.4). Как можно видеть, в этом случае зависимость динамики развития ПРГТ от наличия дополнительного пучка становится незначительной только при $\eta_2^{-1} = 2 \cdot 10^4$, откуда опять $I_0 \approx 2$ мкВт/см² и $I_{\omega\Omega} \approx 10^{-9}$ Вт/см² · с⁻¹ · ср, что с точностью до порядка совпадает со значением, полученным в работе [6]. Однако более существенным здесь является то, что яркость затравочного излучения не меняется при изменении интенсивности накачки.

Отсутствие зависимости яркости затравочного излучения от мощности накачки противоречит большинству моделей его возникновения. Действительно, как в модели рэлеевского рассеяния накачки [4], так и в модели фликкер-шума [5] так или иначе предполагается, что затравочное излучение порождается накачкой и, следовательно, его яркость зависит от интенсивности накачки. Единственной моделью, в которой яркость затравочного излучения никак не связана с интенсивностью накачки, является модель, в которой параметрическое рассеяние голографического типа, как и спонтанное параметрическое рассеяние (down-conversion), индуцируется нуле-

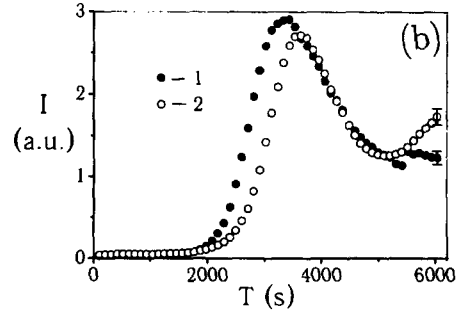
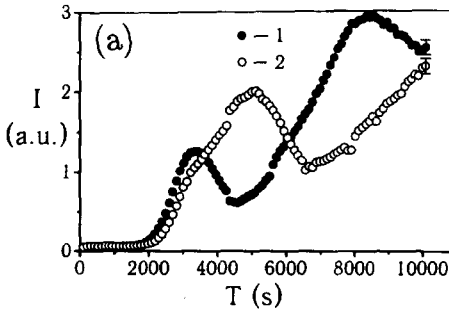


Рис.3. Временные зависимости интенсивности ПРГТ при мощности накачки $P_L \approx 2$ мВт без (1) и в присутствии (2) дополнительного пучка света, ослабленного фильтром в $\eta_2^{-1} = 10^{-3}$ (a) и $\eta_2^{-1} = 2 \cdot 10^{-3}$ (b) раз

выми флуктуациями электромагнитного поля [6], имеющими яркость один фотон на моду [7].

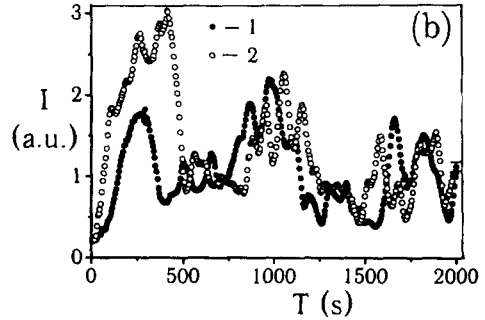
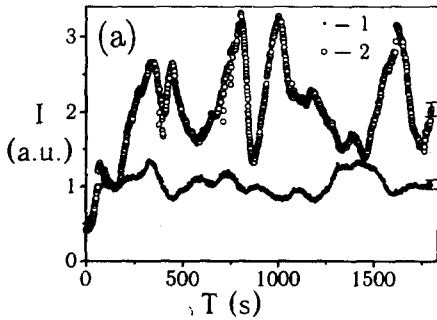


Рис.4. Временные зависимости интенсивности ПРГТ при мощности накачки $P_L \approx 20$ мВт без (1) и в присутствии (2) дополнительного пучка света, ослабленного фильтром в $\eta_2^{-1} = 2 \cdot 10^{-3}$ (a) и $\eta_2^{-1} = 2 \cdot 10^{-4}$ (b) раз

Таким образом, полученные в данной работе результаты свидетельствуют об универсальном квантовом происхождении затравочного излучения ПРГТ, хотя, как уже говорилось, окончательный вывод в пользу этой гипотезы может быть сделан лишь после построения последовательной квантовой модели процесса записи ПРГТ на ранних стадиях его развития.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований 99-02-16418 в рамках программы интеграции "Фундаментальная оптика и спектроскопия".

1. A.Belmonte and J.-M. Flesselles, Phys. Rev. Lett. **77**, 1174 (1996).
2. B.D.Ermi, G.Nisato, J.F.Douglas et al., Phys. Rev. Lett. **81**, 3900 (1998).
3. S.Odoulou, K.Belabaev, and I.Kiseleva, Opt. Lett. **10**, 31 (1985).
4. В.В.Обуховский, А.В.Стоянов, В.В.Лемешко, *Квантовая электроника* **14**, 113 (1987).
5. Б.И.Стурман, *ЖЭТФ* **100**, 1071 (1991).
6. A.N.Penin and K.N.Zabrodin, Opt. Comm. **85**, 450 (1991).
7. Д.Н.Клышко, А.Н.Пенин, *УФН* **152**, 653 (1987).