

## ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЕ ВЫНУЖДЕННОЕ НИЗКОЧАСТОТНОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА

М. А. Шевченко<sup>1</sup>, В. И. Гребенкин<sup>2</sup>, М. В. Тареева<sup>1</sup>,  
А. Д. Кудрявцева<sup>1</sup>, Л. Л. Чайков<sup>1</sup>, Н. В. Чернега<sup>1</sup>

*В работе впервые экспериментально реализовано внутрирезонаторное вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света на упругих колебаниях субмикронных частиц латекса в водной суспензии.*

**Ключевые слова:** вынужденное рассеяние, эффективность преобразования, спектр.

Одним из основных практических применений вынужденных рассеяний (ВР) света различных типов является использование их для преобразования амплитудных, энергетических, временных и спектральных характеристик когерентного излучения. Схемы возбуждения внутрирезонаторного ВР, что фактически эквивалентно использованию обратной оптической связи, позволяют снижать пороговую величину интенсивности возбуждающего лазерного излучения и повышать эффективность преобразования. При внутрирезонаторном возбуждении возможно одновременное протекание различных типов вынужденных рассеяний света, таких как вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ) [1]. Внутрирезонаторное ВРМБ может быть успешно использовано для получения режима пассивной модуляции добротности на длинах волн, для которых отсутствуют традиционные насыщающиеся поглотители [2], при этом такие эффекты как обращение волнового фронта (ОВФ) при ВРМБ играют существенную роль для получения высокого качества пространственного распределения лазерного излучения [3]. В настоящей работе экспериментально исследовался процесс внутрирезонаторного вынужденного низкочастотного комбинационного рассеяния света (ВНКР). ВНКР – вынужденный аналог спонтанного низкочастотного комбинационного рассеяния света [4], которое представляет собой неупругое рассеяние электромагнитного излучения на акустических колебаниях нано- и

<sup>1</sup> ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: mishev87@mail.ru.

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005 Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

субмикронных частиц. Частотное смещение рассеянного излучения при ВНКР определяется морфологией наночастиц и для различных систем лежит в диапазоне от единиц гигагерц до терагерца. ВНКР в водной суспензии наночастиц латекса исследовалась в работе [5] при возбуждении второй гармоникой наносекундного Nd-YAG лазера. В этой работе были определены пороги возбуждения ВНКР, экспериментально измерены частотные смещения первой стоксовой компоненты и отмечено наличие концентрационной зависимости порога возникновения рассеяния. В нашей работе в качестве активной среды мы использовали образцы водной суспензии частиц латекса со средним размером 200 и 600 нм.

Предварительно, с использованием экспериментальной схемы, аналогичной приведённой в работе [5], но с использованием рубинового лазера, были исследованы параметры ВНКР, возбуждаемого сфокусированным лазерным излучением в кюветах, расположенных вне лазера. Исследовались образцы суспензий латекса со средним диаметром частиц 200 и 600 нм. Результаты приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Параметры ВНКР, возбуждаемого вне резонатора*

Диаметр частиц, нм	Пороговое значение интенсивности ВНКР, ГВт/см <sup>2</sup>	Максимальная эффективность преобразования, %	Спектральное смещение ВНКР, см <sup>-1</sup>
200	0.03	35	0.265
600	0.027	40	0.1

Для всех исследованных образцов при достижении порогового значения интенсивности в спектрах излучения, прошедшего кювету и рассеянного назад, регистрировалось излучение ВНКР, причем спектральное смещение рассеянной волны было одинаково как для рассеяния “вперёд”, так и для рассеяния “назад”. Максимальная эффективность преобразования составляла 40%. Концентрация частиц в суспензиях латекса 200 и 600 нм была  $4.8 \cdot 10^{10}$  и  $1.8 \cdot 10^9$  шт/см<sup>3</sup> соответственно. При таких концентрациях в исследуемом частотном интервале возбуждалось только ВНКР. При уменьшении концентрации частиц в спектре рассеянного излучения в направлении навстречу накачке регистрировалась спектральная компонента, соответствующая вынужденному рассеянию Манделъштама–Бриллюэна в воде.

Для исследования внутрирезонаторной генерации ВНКР нами использовалась экспериментальная установка на основе лазера на рубине, работающего в режиме модуляции добротности (рис. 1).

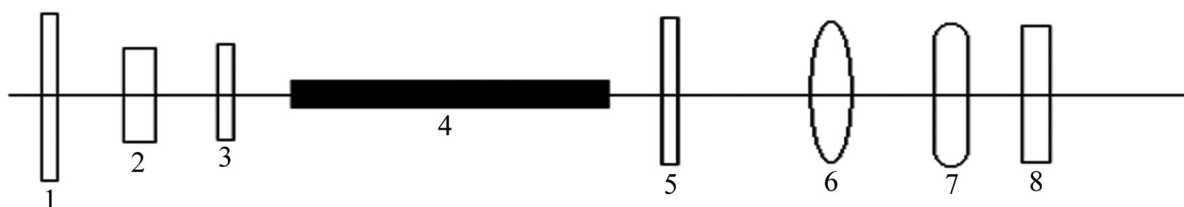


Рис. 1: *Схема эксперимента. 1 – 99% зеркало, 2 – модулятор добротности (раствор криптоцианина в этаноле), 3 – кювета с суспензией субмикронных частиц латекса, 4 – рубиновый стержень с лампами накачки, 5 – выходное зеркало, 6 – оптическая система, 7 – интерферометр Фабри–Перо, 8 – система регистрации интерферограмм.*

Кювета с суспензией наночастиц латекса длиной 10 мм помещалась в резонатор лазера между кристаллом рубина и пассивным модулятором добротности. Длина резонатора была 0.5 метра. Длительность импульса лазерной генерации при отсутствии в резонаторе кюветы с суспензией частиц латекса была 20 нс. Контролировалась энергия лазерного импульса, его длительность и спектральный состав излучения. Энергия накачки варьировалась в диапазоне от 2.8 до 4 кДж. Для всех исследуемых образцов (200 и 600 нм) были определены режимы генерации, соответствующие возбуждению внутрирезонаторного ВНКР. Для случая использования суспензии латекса с размером частиц 200 нм в спектре излучения лазера были получены 2 стоксовы спектральные линии со смещением  $0.267\text{ см}^{-1}$  и  $0.544\text{ см}^{-1}$  с эффективностью преобразования 50%, а для второго образца – одна стоксова компонента со смещением  $0.1\text{ см}^{-1}$  и эффективностью преобразования 40%. Таким образом, внутрирезонаторное ВНКР позволяет получать когерентное излучение наносекундного диапазона длительности с заданным спектральным распределением. Учитывая возможность управления спектральными характеристиками процесса ВНКР в гигагерцовом диапазоне частот, этот тип рассеяния может быть использован для реализации режима модуляции добротности в различных лазерных системах.

Работа была выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-32-60026 мол-а-дк).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] А. З. Грасюк, В. В. Рагульский, Ф. С. Файзуллов, Письма в ЖЭТФ **9**(1), 11 (1969).

- [2] Н. Н. Ильичев, А. В. Кирьянов, А. А. Малютин и др., *Квантовая электроника* **17**(11), 1475 (1990).
- [3] В. И. Безродный, Ф. И. Ибрагимов, В. И. Кисленко и др., *Квантовая электроника* **7**(3), 664 (1980).
- [4] N. V. Tcherniega, K. I. Zemskov, V. V. Savranskii, et al., *Optics Letters* **38**(6), 824 (2013).
- [5] А. Ф. Бункин, М. А. Давыдов, В. Н. Леднев и др., *Краткие сообщения по физике ФИАН* **45**(6), 37 (2018)

Поступила в редакцию 23 ноября 2018 г.

После доработки 28 ноября 2018 г.

Принята к публикации 29 ноября 2018 г.