

## Скорость счета парных совпадений для лазерного излучения при учете коллективных эффектов\*

Е.А. Титов<sup>1</sup>, В.А. Жмудь<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Исследуются корреляционные свойства флуктуаций числа фотонов в лазерном излучении для случая, когда полуширина линии пропускания резонатора много меньше поперечной ширины релаксации двухуровневого атома и много больше продольной ширины. Найдена зависимость коррелятора от времени. Показано, что имеется область параметров, где он испытывает осцилляции, вычислена частота этих осцилляций.

**Ключевые слова:** лазер, фотон, излучение, спектр, атомарный спектр, релаксация, резонатор.

### Введение

Теоретические и экспериментальные исследования флуктуаций числа фотонов в лазерном излучении остаются одной из актуальных задач лазерной физики. В частности, это важно для исследования и разработки радиационно-сбалансированных лазеров [1–12]. Математическая модель флуктуаций фотона, как и фотонный баланс, остаются в центре внимания теоретиков и составляют важную компоненту знаний для практического использования [13–19]. При отсутствии надежной теории подобные задачи некоторые авторы пытаются решать методами численного моделирования, в том числе методом Монте-Карло [20].

Настоящая работа посвящена исследованию корреляционных свойств флуктуаций числа фотонов в лазерном излучении для случая, когда полуширина линии пропускания резонатора много меньше поперечной ширины релаксации двухуровневого атома и много больше продольной ширины. Отыскивается зависимость коррелятора от времени. Показано, что имеется область параметров, где он испытывает осцилляции, вычислена частота этих осцилляций.

В работах [21, 22] приведено вычисление дополнительного вклада в ширину линии излучения полупроводникового лазера, который ранее не учитывался. Этот вклад увеличивает ширину линии по меньшей мере на порядок по сравнению с вкладом из-за спонтанного излучения. Появляется также дополнительный вклад в амплитудные флуктуации полупроводникового лазера. Речь идет о применении квантовой теории лазера [23–25] к вычислению флуктуаций излучения полупроводникового лазера. Необходимость этих вычислений была связана с тем, что прямой расчет ширины линии из-за спонтанного излучения дает результат в 20–25 раз меньше экспериментального [26, 27].

### Задача исследования

В настоящей работе исследуются квантовые амплитудные флуктуации излучения лазера с учетом влияния коллективных эффектов для нестационарного случая. Квантовые флуктуации излучения лазера определяются флуктуациями числа фотонов в резонаторе и флуктуациями из-за спонтанного излучения и статистически независимы от флуктуаций, возникающих вследствие дискретного характера возбуждения атомов – типа дробового шума. Дисперсии квантовых и дробовых шумов складываются. Нас интересуют только квантовые флуктуации.

### Методы решения задачи

Поставленная задача решается математическими методами, применяемыми к соотношениям, полученным в ряде публикаций [21, 22] с учетом результатов, полученных в работах [23–29], и применены некоторые математические соотношения из публикации [30]. Также к методам исследований относятся учет ограничений в виде неравенств, рассмотрение предельных случаев при

\* Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ, грант «Разработка научных методов прецизионных оптических измерений сейсмических, акустических и оптических полей и методов построения атмосферной ультрафиолетовой оптической связи с люминесцентными антеннами для мониторинга объектов с природной и антропогенной опасностью», регистрационный номер 121033100068-7 (2025 год).