

# ПРОЕКЦИОННЫЙ МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ

С. П. Слухаевский

*Аннотация.* Предложен и экспериментально реализован метод прямой визуализации поперечной структуры свободно распространяющихся световых пучков. Схема состоит из отрицательной линзы, размещенной за исследуемым сечением, и удаленного экрана. В параксиальном приближении линза преобразует пространственную структуру поля в угловое распределение, проецируемое на экран с увеличением  $M = L / |f|$ . Метод обеспечивает неинвазивное наблюдение и продольное сканирование структуры поля. Экспериментально продемонстрирована визуализация тонкой пространственной структуры лазерного пучка и эволюции дифракционного поля за кромкой полуплоскости при увеличении порядка  $M \approx 300$ . Метод может применяться в поисковых исследованиях волновых процессов и учебных практикумах по оптике.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

---

Прямое наблюдение пространственной структуры светового поля в ближней зоне дифракции и вблизи препятствий представляет значительные экспериментальные трудности. Размещение регистрирующей среды непосредственно в исследуемом сечении приводит к возмущению поля и нередко ограничивается геометрией установки.

Ближнепольные методы позволяют получать информацию о локальной структуре поля, однако требуют специализированного оборудования и, как правило, ориентированы на исследование поверхностных или локализованных объектов. Для свободно распространяющихся световых пучков их применение ограничено.

Стандартные схемы регистрации с использованием удаленного экрана позволяют наблюдать лишь распределение интенсивности в плоскости регистрации, не обеспечивая доступа к промежуточным сечениям пучка. Это затрудняет исследование процессов пространственного формирования интерференционных и дифракционных структур.

В настоящей работе предложен проекционный метод визуализации, основанный на использовании отрицательной линзы. Метод позволяет наблюдать структуру выбранного сечения светового пучка на удаленном экране без внесения возмущений в исследуемую область и обеспечивает продольное сканирование поля вдоль направления распространения.

## 2. ПРИНЦИП МЕТОДА

---

Экспериментальная схема включает отрицательную линзу с фокусным расстоянием  $f < 0$ , размещенную за исследуемым сечением пучка, и экран, расположенный на расстоянии  $L \gg |f|$  от линзы.

Для параксиального пучка поперечная координата  $r$  в плоскости линзы преобразуется в угол:

$$\theta \approx -r / |f| \quad (1)$$

На экране это соответствует смещению:

$$R = L\theta \quad (2)$$

что приводит к линейному увеличению наблюдаемой структуры:

$$M = L / |f| \quad (3)$$

При  $L = 15$  м и  $f = -50$  мм коэффициент увеличения составляет  $M = 300$ . В этом случае детали характерного размера 100 мкм отображаются на экране в структуры размером около 3 см, доступные непосредственному визуальному наблюдению и фоторегистрации.

Для слабо расходящихся пучков наблюдаемая картина близка к увеличенному отображению поперечной структуры распределения интенсивности.

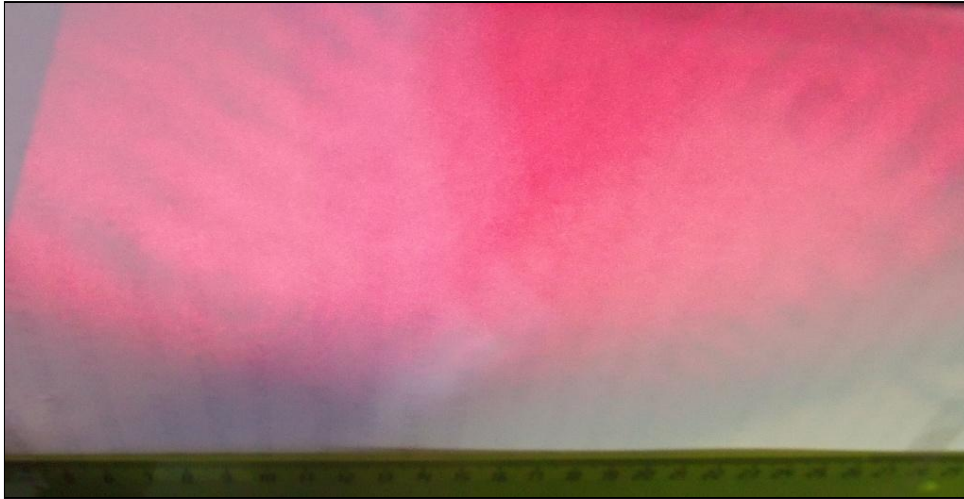
## 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ДЕМОНСТРАЦИЯ

---

### 3.1. Внутренняя структура лазерного пучка

Метод был применен для исследования излучения полупроводникового лазера с длиной волны  $\lambda = 650$  нм.

При параметрах  $L = 15$  м и  $f = -50$  мм на удаленном экране зарегистрирована тонкая пространственная структура интенсивности, включающая локальные неоднородности и протяженные области модуляции. Полученное увеличение позволило визуализировать детали исходного распределения интенсивности размером порядка десятков микрометров.



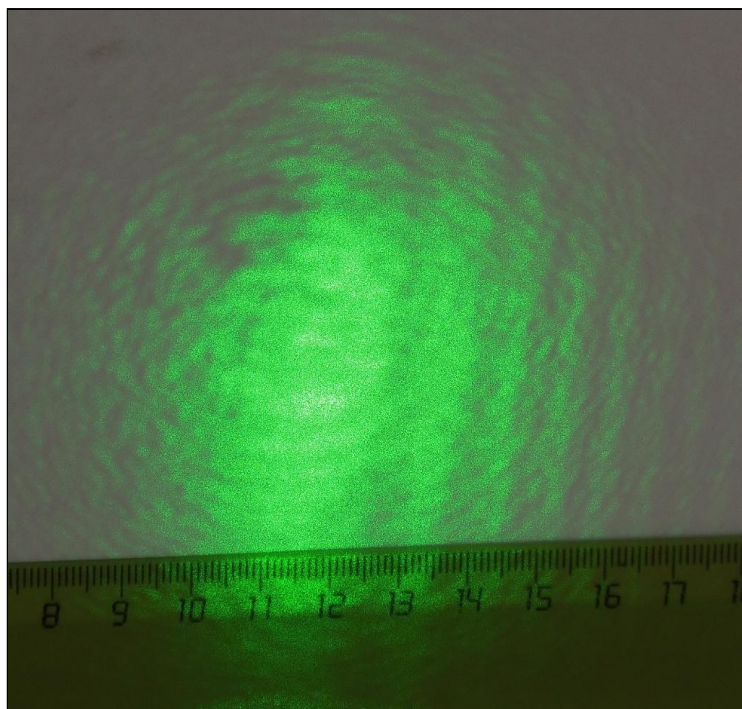
**Рис. 1.** Пространственная структура излучения полупроводникового лазера при увеличении  $M=300$ . Наблюдаются выраженные пространственные неоднородности распределения интенсивности.

### **3.2. Дифракционное поле за кромкой полуплоскости**

Во второй серии экспериментов исследовалось дифракционное поле за кромкой непрозрачной полуплоскости.

Продольное сканирование области на расстояниях от 0 до 20 см за препятствием позволило наблюдать пространственную модуляцию интенсивности и ее постепенную трансформацию вдоль оси распространения. Метод обеспечил регистрацию структуры поля без размещения экрана непосредственно в исследуемой зоне.

Полученные результаты демонстрируют возможность прямого наблюдения пространственной эволюции дифракционных распределений в ближней зоне.



**Рис. 2.** Проекционное изображение сечения лазерного пучка в области прицельного параметра при дифракции на кромке непрозрачной полуплоскости. Наблюдается пространственная структура распределения интенсивности, регистрируемая без размещения экрана в исследуемой области.

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Предложен и экспериментально реализован проекционный метод визуализации внутренней структуры световых пучков с использованием отрицательной линзы.

Показано, что метод обеспечивает прямую визуализацию выбранных сечений пучка, увеличение изображения с коэффициентом  $M = L / |f|$ , отсутствие регистрирующих элементов в исследуемой области, наблюдение структуры поля в режиме реального времени и продольное сканирование вдоль направления распространения без перестройки экспериментальной схемы.

Метод успешно применен для исследования тонкой структуры лазерного пучка и пространственной эволюции дифракционного поля за кромкой препятствия. Простота реализации, использование стандартных оптических компонентов и высокая наглядность делают предложенный подход перспективным инструментом для поисковых исследований в волновой оптике, а также для учебных лабораторных работ и демонстрационных экспериментов. Предложенный подход может использоваться как самостоятельный инструмент исследования пространственной структуры световых полей, а также как

вспомогательный метод при изучении процессов формирования дифракционных и интерференционных картин.

## **ЛИТЕРАТУРА**

---

1. *Слухаевский С. П.* Дифракция: Экспериментальный поиск физических механизмов формирования картины. viXra:2606.0061, 2026.
2. *Hecht E.* Optics. 5th Edition. Pearson, 2017.
3. *Goodman J. W.* Introduction to Fourier Optics. 3rd Edition. Roberts & Company Publishers, 2005.
4. *Born M., Wolf E.* Principles of Optics. 7th Edition. Cambridge University Press, 1999.