

# Дифракция: наблюдение 7. Влияние кривизны волнового фронта на структуру дифракционного рисунка

С. П. Слухаевский

30 июня 2026 г.

## Аннотация

Экспериментально исследовано влияние формы волнового фронта падающего лазерного излучения на пространственную структуру дифракционного поля за кромкой непрозрачной полуплоскости. Для изменения кривизны фронта использовалась отрицательная линза, устанавливаемая попеременно до и после препятствия. Визуализация внутренней структуры светового потока осуществлялась ранее разработанным проекционным методом с использованием отрицательной линзы и удалённого экрана. Несмотря на существенное изменение геометрически оценённого радиуса кривизны падающего волнового фронта, наблюдаемая пространственная структура дифракционного поля осталась качественно неизменной, при этом было зафиксировано лишь относительно небольшое различие в пространственном масштабе. Полученные результаты показывают, что в исследованном диапазоне условий влияние кривизны падающего волнового фронта на наблюдаемую структуру дифракционного поля оказалось значительно слабее ожидаемого по качественным представлениям классической волновой теории.

## 1 Введение

В классической волновой оптике пространственная структура дифракционного поля рассматривается как результат интерференции вторичных волн, возникающих на всей открытой части волнового фронта. При этом изменение радиуса кривизны падающего фронта должно приводить к изменению распределения фаз по апертуре и, следовательно, влиять на пространственные характеристики наблюдаемой картины.

В ранее опубликованной работе автором был предложен проекционный метод визуализации внутренней структуры свободно распространяющихся световых пучков с использованием отрицательной линзы [2]. В настоящей работе использован предложенный ранее проекционный метод для экспериментальной проверки влияния кри-

визны волнового фронта на структуру дифракционного поля. Таким образом, исследование является прямым продолжением предыдущей работы, посвящённой экспериментальному исследованию физических механизмов формирования дифракционной картины [1].

## 2 Методика эксперимента

В экспериментальной установке использовались полупроводниковый лазер (модель 303,  $\lambda = 532$  нм), непрозрачная полуплоскость (нож) и проекционная система, включающая отрицательную линзу ( $f = -50$  мм) и удалённый экран, расположенный на расстоянии  $L = 15$  м.

Для изменения формы волнового фронта отрицательная линза последовательно устанавливалась в двух конфигурациях.

Для формирования существенно отличающейся кривизны падающего волнового фронта отрицательная линза устанавливалась перед полуплоскостью. Приблизительно параллельный лазерный пучок после прохождения через отрицательную линзу становится эквивалентным сферической расходящейся волне, исходящей от мнимого точечного источника, расположенного приблизительно на расстоянии, равном модулю фокусного расстояния линзы (около 5 см), перед её поверхностью. Без линзы падающий фронт можно считать практически плоским. Следовательно, в плоскости препятствия падающий волновой фронт приобретает сферическую форму с радиусом кривизны, определяемым расстоянием от мнимого источника до полуплоскости. Расчёт абсолютного значения радиуса кривизны не являлся целью работы; указанная оценка использована только для демонстрации существенного изменения геометрии падающего волнового фронта.

Во второй конфигурации линза располагалась после полуплоскости и не изменяла форму волнового фронта в плоскости дифракции, выполняя только функцию проекционного увеличения изображения.

Таким образом, по геометрической оценке радиус кривизны волнового фронта в плоскости препятствия различался более чем в сто раз, в то время как остальные параметры эксперимента сохранялись неизменными. Предложенная экспериментальная схема позволяет непосредственно сравнивать дифракционные структуры, сформированные при существенно различной кривизне падающего волнового фронта.

## 3 Результаты

На рисунках 1 и 2 представлены изображения структуры дифракционного поля, полученные для обеих конфигураций на удалённом экране наблюдения.

Сравнение изображений по нанесённой масштабной шкале показывает, что наблюдаемая последовательность характерных элементов дифракционной структуры



Рис. 1: Структура дифракционного поля, полученная при расположении линзы перед полуплоскостью.

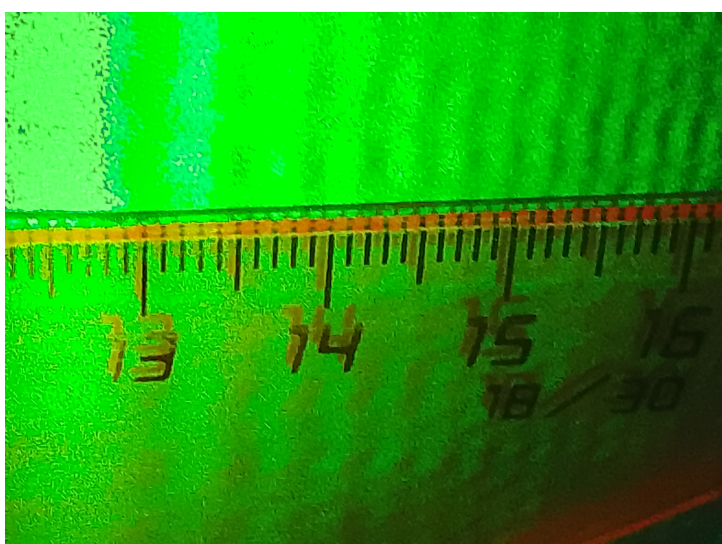


Рис. 2: Структура дифракционного поля, полученная при расположении линзы после полуплоскости в качестве проекционного элемента.

сохраняется, а различие линейного масштаба составило около 20%. Измерения выполнялись по положениям первых хорошо различимых дифракционных полос на обоих изображениях.

При этом следует отметить, что перестановка линзы сопровождалась изменением её механического положения относительно оптической оси примерно на 1 см, обусловленным конструкцией крепления. Данная погрешность могла оказать влияние на масштаб проекционного изображения и сопоставима с наблюдаемым различием.

## 4 Обсуждение

Согласно классической теории дифракции, изменение радиуса кривизны падающего волнового фронта должно сопровождаться изменением распределения фаз по апертуре и, следовательно, изменением пространственных характеристик дифракционной картины. Распределение фаз по освещённой апертуре рассматривается как один из параметров, определяющих результирующее поле. Поэтому качественно можно ожидать, что существенное изменение кривизны падающего фронта будет сопровождаться изменением структуры наблюдаемой картины.

В выполненном сравнительном эксперименте существенное изменение геометрически оценённого радиуса кривизны падающего волнового фронта не привело к заметному изменению наблюдаемой качественной структуры. Наклоны и поперечные смещения отрицательной линзы на макроскопические величины вызывали лишь обычные геометрические искажения проекционного изображения (смещение, масштабирование и небольшой наклон), характерные для геометрической оптики, не изменяя качественной структуры дифракционной картины.

Полученный результат показывает, что в исследованной конфигурации влияние кривизны падающего волнового фронта на наблюдаемую пространственную структуру оказалось существенно менее выраженным, чем можно было ожидать исходя из качественного анализа зависимости распределения фаз от кривизны падающего волнового фронта. Вместе с тем нельзя полностью исключить, что зафиксированное различие в пространственном масштабе может быть обусловлено воздействием искомого механизма дифракции. Настоящий эксперимент не позволяет однозначно подтвердить или опровергнуть данную гипотезу, однако полученный результат представляется совместимым с такой интерпретацией. Проверка этой гипотезы требует отдельного экспериментального исследования.

## 5 Заключение

Предложена экспериментальная схема сравнительного исследования влияния формы волнового фронта на структуру дифракционного поля.

Показано, что при существенном изменении геометрически оценённого радиуса

кривизны падающего волнового фронта наблюдаемая пространственная структура осталась качественно неизменной, при этом было зафиксировано лишь относительно небольшое различие в пространственном масштабе. Измеренное различие масштаба составило около 20% и сопоставимо с инструментальной погрешностью взаимного расположения элементов экспериментальной установки.

Разработанная методика представляет собой простой и воспроизводимый экспериментальный инструмент для сравнительного исследования пространственных структур дифракционных полей при различной кривизне падающего волнового фронта и может применяться при экспериментальной проверке моделей формирования дифракционных структур. Полученный результат представляет интерес прежде всего как экспериментальный факт, требующий дальнейшего количественного исследования при более высокой точности взаимного позиционирования элементов установки.

## Список литературы

- [1] С. П. Слухаевский. Дифракция: экспериментальный поиск физических механизмов формирования рисунка // ArxivOrg.Ru. — 2026. — URL: <https://arxivorg.ru/physics/difraktsiya-eksperimentalnyy-poisk-fizicheskikh-mekhanizmov-formirovaniya-risunk/> (дата обращения: 30.06.2026).
- [2] С. П. Слухаевский. Проекционный метод визуализации пространственной структуры световых полей // ArxivOrg.Ru. — 2026. — URL: <https://arxivorg.ru/physics/proektsionnyy-metod-vizualizatsii-prostranstvennoy-struktury-svetovykh-poley/> (дата обращения: 30.06.2026).