

Дифракция. Наблюдение 8. Независимость рисунка от формы и размера неповреждённой части потока

Сергей Павлович Слухаевский

Независимый исследователь, Казахстан

ORCID: [0009-0008-0104-1206](https://orcid.org/0009-0008-0104-1206)

ResearcherID: QOA-4286-2026

Аннотация

В работе предложена схема наблюдения дифракции на полуплоскости, позволяющая исследовать влияние формы и размера неповреждённой части квазипараллельного светового потока на пространственное положение элементов дифракционного рисунка. Выполнены экспериментальные наблюдения независимости положения элементов рисунка от указанного параметра в диапазоне от 0,01 до 2 мм.

1 Введение

При поиске правила построения дифракционного рисунка в районе кромки полуплоскости возникло препятствие метрологического характера.

Оно состоит в зависимости внешнего вида дифракционного рисунка от изменения сечения проходящей части светового пучка. Отсюда возникает вопрос доверия к измерениям. А именно: изменяется ли положение максимума определённого номера при изменении формы и площади сечения проходящего светового потока?

Предлагаемая работа решает вопрос доверия по параметру наполненности сечения светового потока, проходящего мимо кромки полуплоскости. Искомые результаты позволяют также уточнить число параметров, определяющих положение элементов сформированной картины.

В опубликованных исследованиях рассмотрена зависимость дифракции от формы и размеров препятствия. Ближе к рассматриваемому в настоящей работе случаю находятся варианты дифракции при сохранении прямолинейной границы [1], при изменении толщины полуплоскости [2,3], а также исследования пространственных характеристик дифракции вблизи плоских апертур и различные описания дифракции на полуплоскости [4].

Вместе с тем в доступной автору литературе не обнаружено экспериментального исследования, в котором рассматривалось бы влияние сечения неповреждённой части проходящего светового потока на положение максимумов дифракционной картины.

То есть готовое экспериментальное разрешение данного вопроса не найдено, а готовые схемотехнические решения для выполнения таких наблюдений отсутствуют и требуют разработки и реализации.

При таких обстоятельствах изменение сечения неповреждённой части потока выбрано в настоящей работе как контролируемое экспериментальное воздействие, а наблюдаемым результатом является отслеживание изменения положения элементов дифракционной картины.

2 Методика наблюдения

Для наблюдения возможных изменений применялся функциональный аналог компаратора, заключающийся в наблюдении за поведением выбранной точки при значительном преобразовании масштаба изображения.

Первое преобразование масштаба осуществлялось проекционной линзой с отрицательным фокусным расстоянием, размещённой в интересующей области дифракционной картины. После обычного проецирования на экран линза обеспечивала примерно десятикратное оптическое преобразование масштаба.

Второе преобразование масштаба осуществлялось геометрически за счёт наклонного расположения экрана. Экран размещался под небольшим углом к направлению перемещения дифракционного рисунка с поворотом вокруг оси, параллельной кромке препятствия. При таком расположении экрана лучи от начальных точек прицельного параметра достигают экрана раньше, а от более дальних — позже, что приводит к дополнительному растяжению изображения дифракционного рисунка.

Невидимые на экране катеты поперечного сечения пучка преобразуются в видимую гипотенузу с увеличением, обратно пропорциональным синусу угла наклона экрана. При угле наклона около 3° дополнительное геометрическое преобразование масштаба составляет примерно 20 раз.

Сочетание двух преобразований позволяло получать значительное увеличение масштаба дифракционного изображения, в отдельных режимах — порядка двухсот раз и более. Большое увеличение использовалось для детального рассмотрения отдельных участков картины и поиска возможной внутренней структуры.

При этом рабочий масштаб выбирался в зависимости от задачи наблюдения простым изменением угла наклона экрана. Таким способом можно было переходить от наблюдения картины в целом к рассмотрению небольшого её фрагмента с большим пространственным растяжением.

Например, при одном из режимов наблюдения расстояние между двумя максимумами на исходной картине могло быть представлено на экране в масштабе порядка 40 см.

Для получения такого изображения существенное значение имеет качество поверхности протяжённых экранов. Поверхность должна быть достаточно ровной, чтобы геометрическое растяжение не сопровождалось заметными искажениями формы изображения. В эксперименте использовался небольшой экран протяжённостью 55 миллиметров, поэтому использовался обычный лист светлого пластика с матовой поверхностью.

Последовательность получения изображений с различным удобным для текущего действия масштабом показана на фиг. 1–3. Фотографии демонстрируют различные масштабы преобразования дифракционной картины.

Простое изменение угла наклона экрана существенно расширяет возможности непосредственного наблюдения пространственных закономерностей, в том числе в учебных

демонстрациях, где малый исходный масштаб затрудняет их визуальное восприятие.

Выбранная методика позволяет реализовать наблюдение 8 с очевидностью, эквивалентной обычной аудиторной демонстрации.

3 Ход эксперимента и результат

После формирования дифракционного рисунка на выбранных максимумах были установлены пластилиновые метки.

В качестве контролируемого воздействия изменялось положение лазера относительно кромки полуплоскости в направлении периферии прицельного параметра. Перемещение выполнялось координатным столиком с шагом около 0,01 мм, вследствие чего постепенно изменялась глубина погружения кромки в световой поток и, соответственно, размер его неповреждённой части.

Таким образом, в эксперименте последовательно изменялась геометрия той части светового потока, которая проходила мимо кромки полуплоскости, тогда как положение самой кромки и остальные основные элементы экспериментальной схемы сохранялись.

Наблюдение начиналось при едва заметном открытии части потока и продолжалось до полного открытия пучка. При этом положение пластилиновых меток относительно дифракционной картины контролировалось непосредственно по преобразованному изображению.

При увеличении неповреждённой части потока ранее наблюдавшиеся максимумы сохраняли своё положение. В частности, пластилиновая метка, установленная на одном из максимумов, на всём протяжении перемещения сохраняла соответствие этому же максимуму. Аналогичное соответствие сохраняла метка, установленная на другом, более удалённом максимуме.

Таким образом, увеличение глубины погружения кромки в поток не сопровождалось смещением ранее сформированных максимумов.

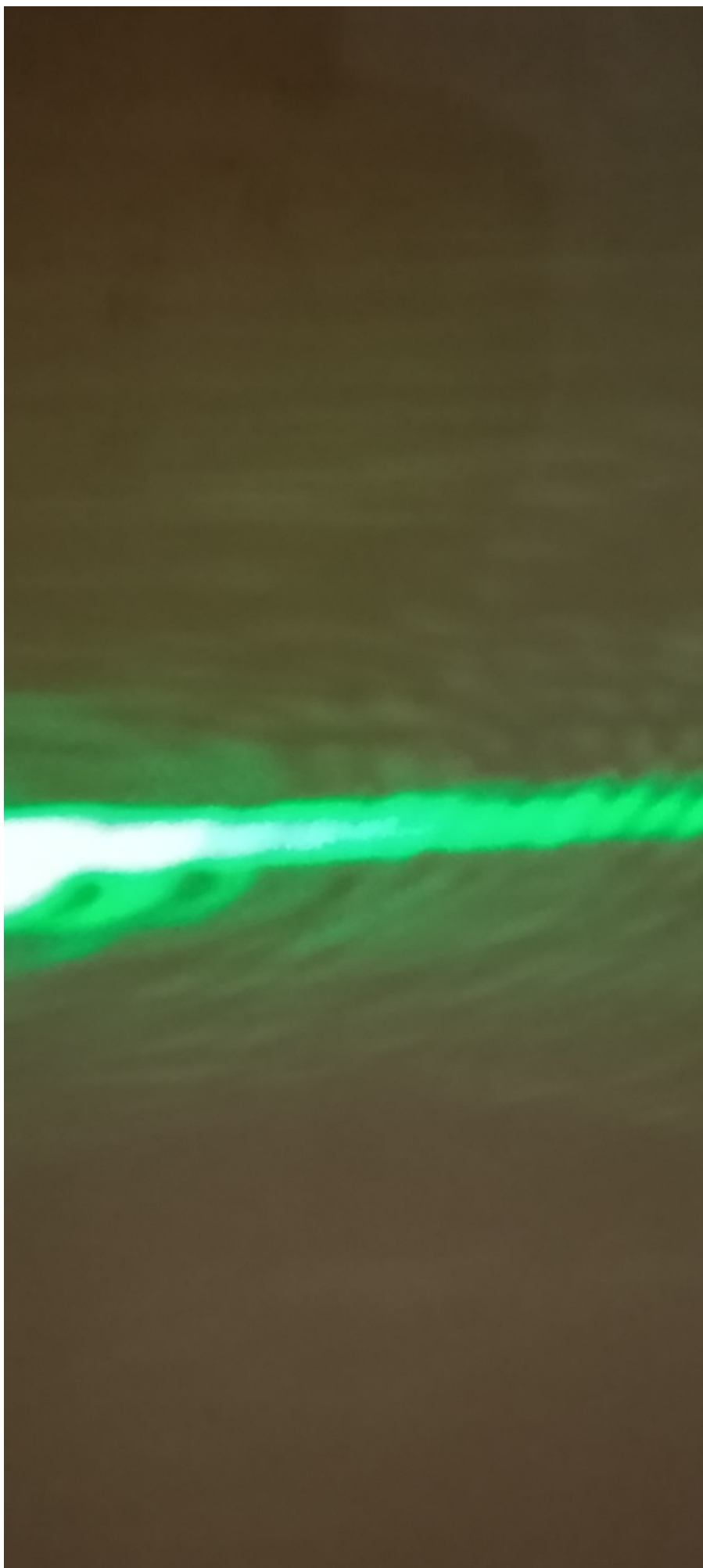
При этом по мере увеличения сечения потока наблюдалось появление дополнительных элементов картины.

Изменение сечения сопровождалось также изменением видимости картины: при увеличении освещённой части потока возрастала общая засветка, минимумы становились менее выраженными, а часть максимумов переставала уверенно различаться.

Это изменение видимости не сопровождалось изменением положения тех максимумов, положение которых удавалось контролировать.

Следовательно, в пределах выполненного эксперимента изменение размера неповреждённой части потока изменяло состав и видимость наблюдаемой картины, но не изменяло положения уже сформированных максимумов, как представлено на фиг. 4 и фиг. 5 — фотографиях, выполненных при существенно различном перекрытии пучка.

Таким образом, каждое последующее изменение картины не изменяло её предшествующего состояния, а дополняло его новыми, дополнительно возникающими элементами.



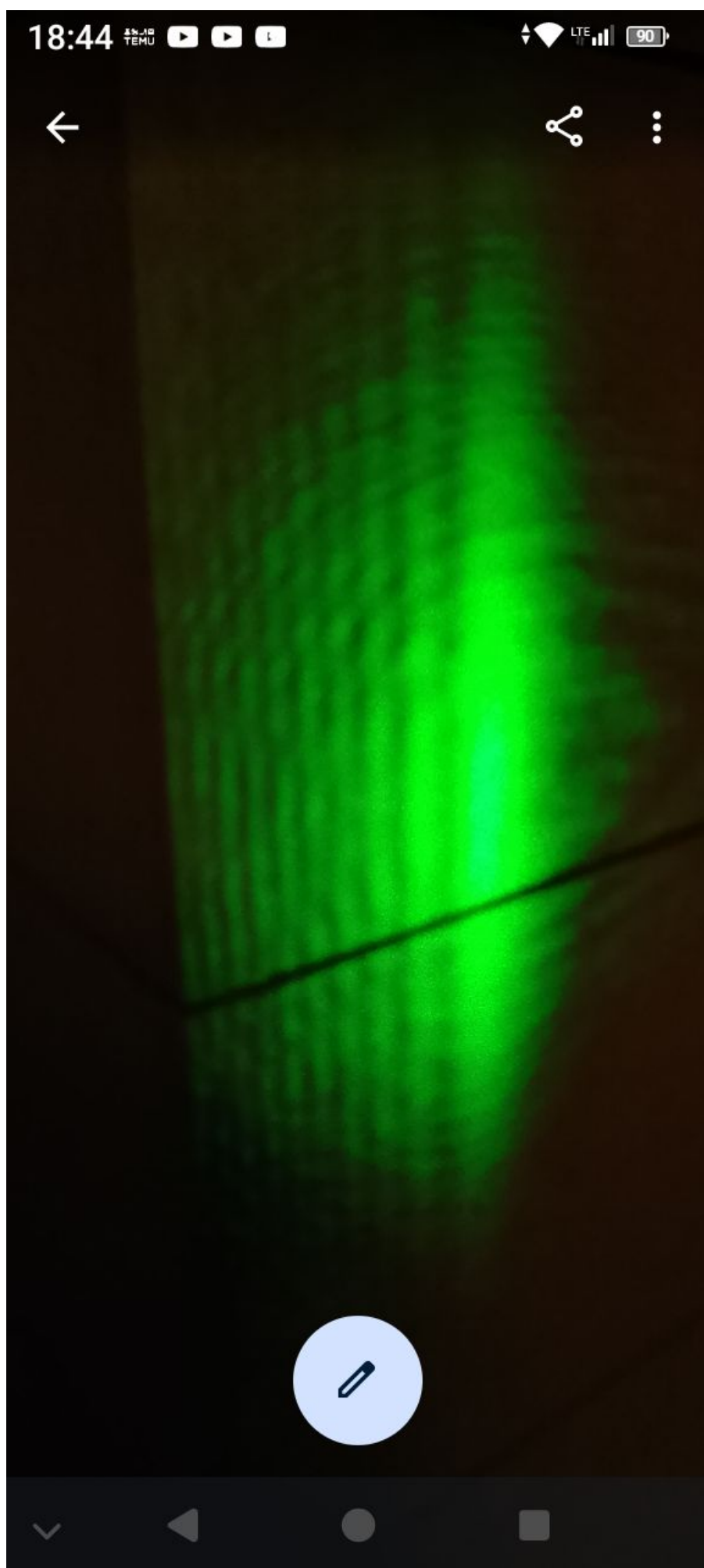


Рис. 2: Дифракционная картина при повороте экрана.

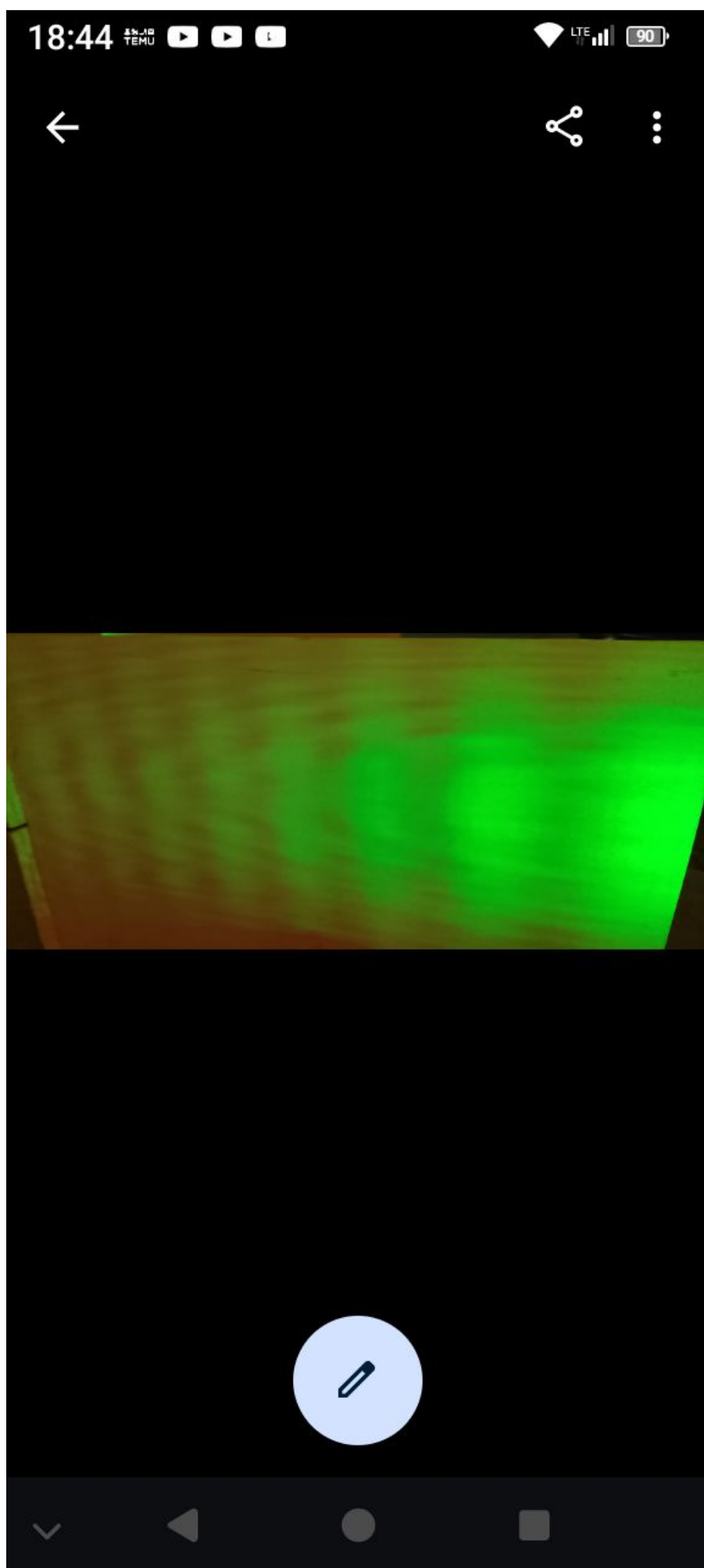


Рис. 3: Дифракционная картина при дополнительном повороте экрана.

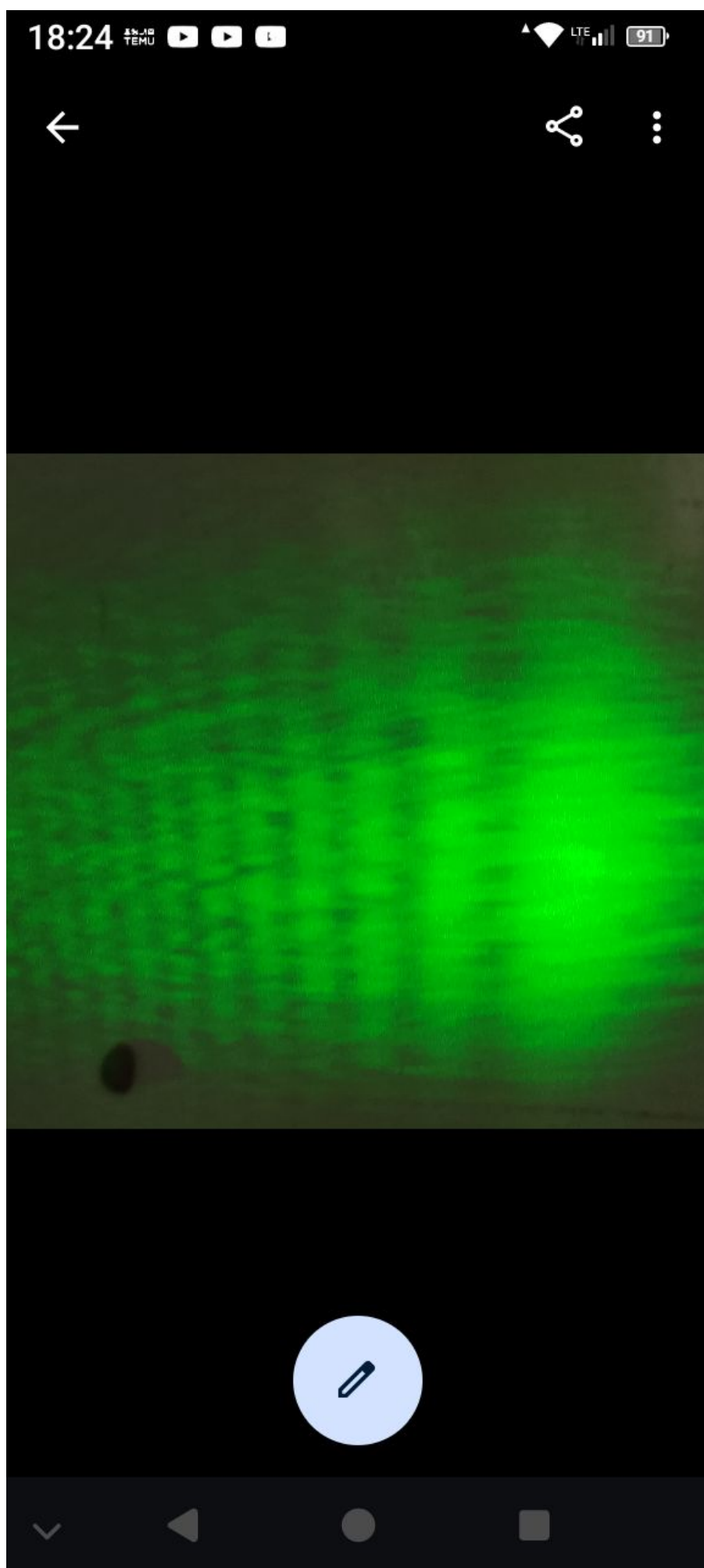


Рис. 4: Дифракционная картина при малом сечении проходящего светового потока. Пла-
стициновая метка фиксирует координату выбранного максимума.



Рис. 5: Дифракционная картина при сечении потока, близком к появлению общей фоновой засветки. Положение максимума относительно метки остаётся неизменным

4 Обсуждение

Сформулированный во введении вопрос метрологического характера касался возможного влияния степени наполненности сечения светового потока на пространственное положение элементов дифракционного рисунка. Полученные в настоящей работе экспериментальные данные дают прямой ответ на этот вопрос: изменение размера неповреждённой части потока в диапазоне от 0,01 до 2 мм не сопровождалось смещением ранее сформированных максимумов.

Выявленная независимость координат максимумов от глубины погружения кромки в световой пучок показывает, что изменение геометрии неповреждённой части проходящего потока не является определяющим параметром для положения уже сформированных элементов дифракционного рисунка в исследованных условиях.

Вместе с тем зафиксированные сопутствующие эффекты — изменение видимости картины, уменьшение выраженности минимумов и нарастание общей фоновой засветки при увеличении открытой части пучка — показывают, что изменение сечения влияет на состав и условия визуального наблюдения картины. При этом появление дополнительных элементов и изменение их видимости происходят без нарушения положения ранее сформированных максимумов.

Таким образом, изменение наполненности сечения может изменять наблюдаемый состав и видимость дифракционной картины, но в исследованном диапазоне не приводит к изменению пространственного положения уже сформированных элементов.

Полученный результат имеет значение для последующих измерений пространственной структуры дифракционной картины: если исследуемым параметром являются координаты максимумов, размер неповреждённой части потока в исследованном диапазоне может не рассматриваться как обязательный контролируемый параметр.

Успешное отслеживание положения выбранных максимумов стало возможным благодаря сочетанию оптического и геометрического преобразований масштаба. Двойное преобразование позволило сделать изменение положения или его отсутствие непосредственно наблюдаемым и контролируемым, в том числе при малом исходном пространственном масштабе картины.

Полученные результаты дают экспериментальную основу для дальнейшего исследования закономерностей пространственного построения дифракционной картины и проверки взаимовлияния элементов в более сложных дифракционных схемах.

5 Заключение

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Экспериментально установлено, что при взаимодействии квазипараллельного светового потока с одиночной полуплоскостью изменение размера его неповреждённой части в диапазоне от 0,01 до 2 мм не вызывает пространственного смещения ранее сформированных максимумов и минимумов дифракционной картины.
2. Изменение формы неповреждённой части потока являлось сопутствующим фактором и также не оказало влияния на форму и расположение наблюдаемых максимумов.

3. Продemonстрировано различие между пространственным расположением элементов дифракционной картины и условиями их визуального наблюдения: при изменении сечения потока изменяются плотность наблюдаемых слоёв, состав видимых элементов и уровень общей фоновой засветки, тогда как положение ранее сформированных максимумов сохраняется.
4. При реализации наблюдений опробовано сочетание наклона экрана и проекционной линзы с отрицательным фокусным расстоянием. Сочетание оптического и геометрического преобразований масштаба позволило существенно увеличить наблюдаемый масштаб дифракционного рисунка — в отдельных режимах до 200 раз и более — при сохранении свободного доступа к месту наблюдения. В выполненных наблюдениях схема обеспечивала устойчивое отслеживание выбранных элементов картины.
5. Из наблюдений следует, что при изучении расположения максимумов размер неповреждённой части потока, проходящей мимо кромки одиночной полуплоскости, в диапазоне от 0,01 до 2 мм, а также форма этой части потока являются в исследованных условиях метрологически несущественными параметрами и могут не контролироваться в последующих аналогичных экспериментах.
6. Разработанная схема контролируемого изменения геометрии потока с оптико-геометрическим преобразованием масштаба может быть использована как базовая (реперная) конфигурация для выявления эффектов взаимного влияния элементов в более сложных многокомпонентных дифракционных схемах.

Список литературы

- [1] Thatte A. P. An Experimental Study of Diffraction Showing the Boundary Effect // *Journal of the Optical Society of America*. 1952. Vol. 42, No. 3. P. 166–171. DOI: [10.1364/JOSA.42.000166](https://doi.org/10.1364/JOSA.42.000166).
- [2] Einstein F. S., Juliano R. A., Pine C. Far-field diffraction by a semi-infinite plane: perpendicular polarization // *Journal of the Optical Society of America*. 1973. Vol. 63, No. 4. P. 419–421. DOI: [10.1364/JOSA.63.000419](https://doi.org/10.1364/JOSA.63.000419).
- [3] Einstein F. S., Juliano R. A., DeAcetis L. A., Lazar I. Experimental investigation of the far-field diffraction by a semi-infinite plane of variable thickness: Parallel polarization // *Journal of the Optical Society of America*. 1979. Vol. 69, No. 1. P. 24–27. DOI: [10.1364/JOSA.69.000024](https://doi.org/10.1364/JOSA.69.000024).
- [4] Mielenz K. D. Optical Diffraction in Close Proximity to Plane Apertures. II. Comparison of Half-Plane Diffraction Theories // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2003. Vol. 108, No. 1. P. 57–68. DOI: [10.6028/jres.108.006](https://doi.org/10.6028/jres.108.006).