

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Профиль «Электронные системы»**

**Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны
когерентного и монохроматического источника излучения**

ИНФОРМАЦИЯ О КЕЙСЕ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ:

<i>Компетенция</i>	<i>Сложность</i>			
<i>Исследование принципов и технологий измерений</i>				
<i>Схемотехническое моделирование и конструирование ЭС</i>				
<i>Разработка программно-аппаратного обеспечения для обработки экспериментальных данных</i>				
<i>Постановка и проведение эксперимента</i>				

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЕЙСА:

КОМПЕТЕНЦИЯ	РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ
<i>Исследование принципов и технологий измерений</i>	<i>Знать: основные принципы волновой оптики Уметь: пользоваться измерительными приборами электрической цепи</i>
<i>Схемотехническое моделирование и конструирование ЭС</i>	<i>Знать: основные характеристики электронной компонентной базы Уметь: пользоваться основными принципами построения электрических схем</i>
<i>Разработка программно-аппаратного обеспечения для обработки экспериментальных данных</i>	<i>Знать: основы программирования на отладочных платах с микроконтроллерами (ATmega, STM, ESP и т.д.) Уметь: формализовать прикладную задачу, выбирать для неё подходящие структуры данных и алгоритмы решения</i>
<i>Постановка и проведение эксперимента</i>	<i>Знать: метод сбора и метод анализа данных, полученных с помощью источников и приёмников оптического излучения Уметь: фиксировать результаты полученной зависимости физических величин в виде таблиц и графиков, делать выводы по результатам исследования</i>

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Профиль «Электронные системы»

Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны когерентного и монохроматического источника излучения

1. Актуальность

Лазерные технологии всё чаще применяются и разрабатываются в России — на примере российской холдинговой компания «Швабе», входящей в госкорпорацию «Ростех», продукция которой обеспечивает современные отрасли промышленности, приборостроения и науки.

Лазерная инженерия является одним из перспективных направлений, которое используется во многих отраслях промышленности, науки, медицины, и не только ради маркировки, резки или сварки различных материалов, но и в целом ряде областей. В их числе — передача и хранение данных, точные метрологические измерения, создание новых технологий в микроэлектронике, медицинских операциях, военной технике, искусстве, науках для жизни и т.д. Одними из ключевых компетенций, которые необходимы при разработке оптико-электронных приборов, являются знание волновой и линейной оптики, а также понимание, что собой представляет лазерное излучение.

Лазерное излучение обладает многими специфическими свойствами, которые позволили открыть совершенно новые возможности и области приложений оптики. Все эти приложения основываются на комплексе следующих свойств:

- Высочайшая спектральная и пространственная плотность энергии
- Высокая когерентность излучения, которая проявляется в его предельной направленности и высокой монохроматичности

Основная цель данного кейса: создать автоматизированное устройство, позволяющее определять ключевую характеристику лазерного излучения — длину волны, используя основные законы волновой и линейной оптики, а также знания в программировании микроконтроллеров. По своей структуре данное устройство будет напоминать оптические спектроанализаторы. В данной работе будет рассматриваться метод определения длины волны лазера, основанный на дифракции Фраунгофера на одной щели.

При решении кейса нужно чёткое понимание основных оптических понятий, таких как видимое оптическое излучение, монохроматичность, когерентность, физическая основа работы лазера, дифракция Фраунгофера.

Природа света двойственна: в одних случаях он проявляет свойства частицы в виде фотона, в других — свойства волны. Как частица, свет взаимодействует с веществом (например, при фотоэффекте), как волна — при взаимодействии с другими световыми волнами (эффекты интерференции, дифракции, дисперсии). По этой причине в научной

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ Профиль «Электронные системы»

Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны когерентного и монохроматического источника излучения

литературе очень часто видны переходы и взаимодействия линейной, волновой и квантовой оптики.

Видимое оптическое излучение — это электромагнитная волна, длина которой находится в диапазоне, который в среднем воспринимается человеческим глазом (от 400 до 800 нм).

Монохроматическое излучение — это излучение, где все излучаемые волны строго характеризуются одной какой-либо частотой колебаний (например, одной длиной волны). Данное свойство вы можете наблюдать при проведении опыта дисперсии света — разложение белого света на различные цвета при прохождении его через призму.

Когерентным называют излучение, при котором все электромагнитные колебания совпадают по частоте и фазе. Это в свою очередь означает, что все пучки света параллельны друг другу.

Физической основой работы лазера служит явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). На практике идеальных лазеров не бывает и такие характеристики как монохроматичность и когерентность всегда имеют погрешность в силу конструктивных особенностей.

Дифракцией называют явление огибания волнами препятствий или рассеяние волн на препятствиях с размерами порядка длины волны. Вследствие дифракции волны могут попадать в область геометрической тени (оггибать препятствия), проникать через небольшие отверстия в экранах (Рис. 1) и т.д.

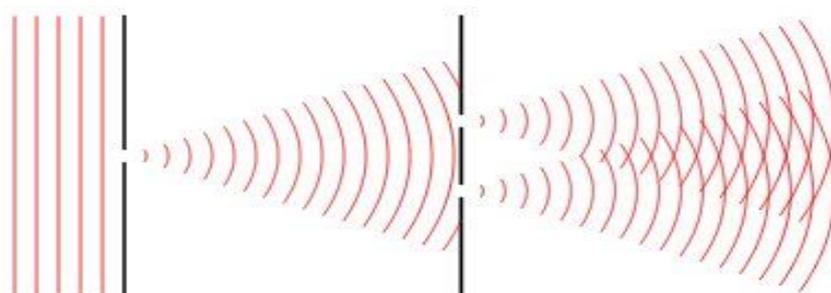


Рисунок 1. Пример дифракции

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Профиль «Электронные системы»**

**Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны
когерентного и монохроматического источника излучения**

Дифракция Фраунгофера основана на пропускании монохроматического излучения через щель, при этом ширина щели должна иметь размер порядка прохождения длины волны пропускаемого света (Рис. 2). Тогда на экране, поставленном после щели на небольшом расстоянии, можно наблюдать интерференционную картину, как показано на рисунке 3. Зависимость интенсивности излучения получаемой картины продемонстрированы на рисунке 4.

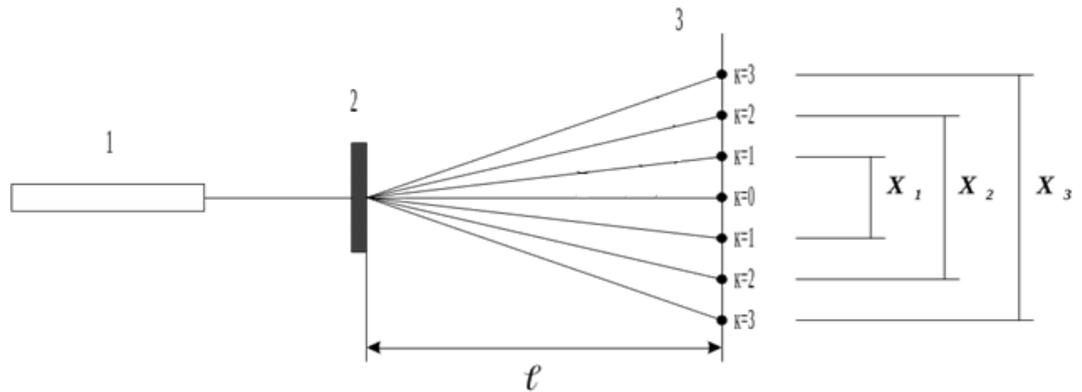


Рисунок 2. Оптическая схема установки Фраунгофера



Рисунок 3. Дифракция Фраунгофера

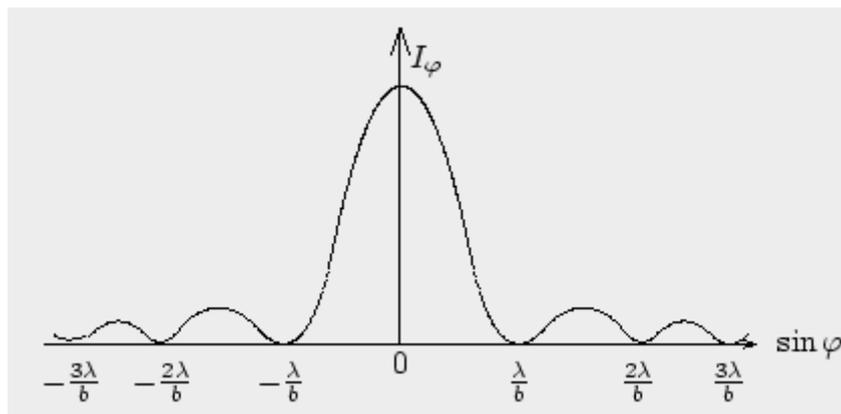


Рисунок 4. Интенсивность излучения в опыте Фраунгофера

Особенность данного опыта заключается в том, что интенсивность излучения просчитывается математически, а также имеет математическую зависимость от длины волны подаваемого излучения, расстояние от щели до экрана и расстояние между порядками минимумами интерференционной картины.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Профиль «Электронные системы»**

**Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны
когерентного и монохроматического источника излучения**

$$\lambda = \frac{\Delta X_n * h}{2l * n}$$

где λ – длина волны, ΔX_n — расстояние между минимумами одного порядка, n , h — ширина щели, l — расстояние до экрана.

В некоторых литературных источниках данный опыт проводится с применением дополнительной оптики, что может привести к корректировке конечной формулы.

2. Техническое задание

Проектная часть

Разработать прототип устройства, позволяющий измерять длину волны лазерного излучения в видимом оптическом диапазоне на основе опыта Фраунгофера, с возможностью вывода данных на экран монитора. Для калибровки устройства будущему пользователю можно проводить такие измерения, как изначальное расстояние от установки до устройства; расстояние между считывающими элементами; определение ширины щели; передаточные характеристики движущихся элементов и внесение каких-либо данных о приёмнике оптического излучения, если конструкция подразумевает их замену. После проведения юстировки и внесения необходимых данных пользователь может производить измерения различных видов источников лазерного излучения с различными диапазонами. Так как в установке будут использоваться приёмники оптического излучения, устройство должно предусматривать снятие шумов для корректировки или проверки пользователем будущих измерений. Данное устройство может быть разработано с помощью отладочных плат с микроконтроллерами (ATmega, STM, ESP и т.д.) или с помощью микрокомпьютеров RaspberryPi. Для создания макета разрешается использовать приёмники оптического излучения, не содержащие электронику, преобразующую в цифровой код выводы с сенсоров. При проектировании устройства разрешается пользоваться простейшей электронно-компонентной базой в виде резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и т.п. Запрещается использование плат расширений и готовых модулей для плат Arduino или RaspberryPi (за исключением модулей вывода информации, драйверов шагового двигателя или сервоприводов, Bluetooth и Wi-Fi модулей).

Исследовательская часть

1) Используя эталонный лазерный излучатель и знание о дифракции Фраунгофера, провести измерения ширины щели без прототипа устройства.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Профиль «Электронные системы»

Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны когерентного и монохроматического источника излучения

2) Провести исследование разрабатываемой установки с помощью мультиметра, показывающее наличие шумов у приёмников оптического излучения, образующихся в результате воздействия внешних оптических источников излучения.

3) Провести исследование программным способом (с использованием микроконтроллера разрабатываемой установки), показывающее на экране монитора наличие шумов у приёмников оптического излучения, образующихся в результате воздействия внешних оптических источников излучения (в дальнейшем данные шумы должны учитываться программным обеспечением при вычислении длины волны лазера).

4) С помощью разработанного прототипа устройства провести измерение длины волны трёх различных лазерных источников с разными спектральными характеристиками.

3. Технические требования к разрабатываемому изделию:

1) Требования к назначению изделия:

Прототип устройства предназначен для наглядной демонстрации работы дифракции Фраунгофера и определения с его помощью длины волны исследуемого лазера, без использования оптических или ультразвуковых дальномеров, оптических и кнопочных датчиков препятствия и вибрации. На основе плат с микроконтроллерами (ATmega, STM, ESP и т.д.) или микрокомпьютеров RaspberryPi устройство должно производить автоматическое управление движущимися элементами устройства, а также производить сбор и анализ информации с приёмников оптического излучения. Будущему пользователю в рамках юстировки можно вносить такие параметры, как расстояние между минимумами или максимумами дифракционной картины; начальное расстояние от экрана до щели до начала работы установки; передаточные значения работы движущихся элементов и сведения о характеристиках приёмников оптического излучения.

2) Функциональные требования:

Будущее устройство предназначено для работы в видимом спектре оптического излучения.

Будущему пользователю в рамках юстировки можно вносить такие параметры, как расстояние между минимумами или максимумами дифракционной картины; начальное расстояние от экрана до щели до начала работы установки; передаточные значения работы движущихся элементов и сведения о характеристиках приёмников оптического излучения.

Будущее устройство должно учитывать возможное влияние внешних источников излучения на приёмники оптического излучения.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Профиль «Электронные системы»
**Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны
когерентного и монохроматического источника излучения**

В прототипе устройства есть возможность замены источников лазерного излучения, которое не приведёт к изменению работы будущего устройства и не потребует проведения дополнительных измерений и юстировки устройства.

После установки источника лазерного излучения устройство производит необходимые измерения и выводит их на экран монитора (например, готовые модули жидкокристаллических экранов или монитор персонального компьютера) при подаче команды пользователем.

Погрешность измерения не должна превышать 10%.

3) Конструктивные требования:

Все измерения, проводимые прототипом устройства, должны проводиться на одной оптической оси.

Устройство может состоять из нескольких взаимосвязанных блоков.

Устройство не должно включать в себя готовые отладочные платы источников и приёмников оптического излучения.

Устройство должно быть спроектировано на базе отладочных плат с микроконтроллерами (ATmega, STM, ESP и т.д.) или на микрокомпьютерах RaspberryPi.

Устройство должно быть спроектировано на простейшей электронной компонентной базе в виде резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и т.п.

В устройстве не допускается использование плат расширений или готовых модулей для плат Arduino или RaspberryPi (за исключением модулей вывода информации, драйверов шагового двигателя или сервоприводов, Bluetooth и Wi-Fi модулей). В данном проекте беспроводные модули могут служить для удалённого управления и передачи на пользовательский интерфейс полученных данных.

Все соединительные элементы должны представлять собой соединения посредством пайки или зажимного типа, без возможности случайного разрыва соединения.

Задачи (этапы)

- 1) Изучить основные принципы работы дифракции Фраунгофера на одной щели.
- 2) Изучить правила работы с измерительными приборами.
- 3) Изучить технику безопасности работы с источниками лазерного излучения.
- 4) Изучить основные характеристики и основы программирования плат Arduino или RaspberryPi.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ Профиль «Электронные системы»

Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны когерентного и монохроматического источника излучения

5) Разработать электрическую и оптическую схему устройства, с возможностью её демонстрации, пояснения принципа функционирования и обоснования выбора электронной компонентной базы.

6) Разработать программный алгоритм и реализовать его.

7) Создать опытный образец: собрать прототип устройства.

8) Провести исследовательскую часть кейса и при необходимости скорректировать работу прототипа при наличии недопустимой погрешности.

9) Сформулировать вывод по проведённым исследованиям.

4. Регламент испытаний

Методика проведения испытаний:

1. Разместить устройство на столе.
2. Включить устройство.
3. Провести юстировку и необходимые измерения для работы устройства.
4. Включить источник лазерного излучения.
5. Запустить на устройстве процесс определения длины волны лазерного источника излучения, направленного на прототип устройства.

6. Продемонстрировать явление дифракции Фраунгофера, а именно: закономерность характеристик оптической системы и дифракционной картины.

7. Выключить устройство.

5. Материалы и оборудование

1. Беспаячные макетные платы.
2. Блок питания.
3. Набор проводов и/или перемычек.
4. Плата с микроконтроллером (ATmega, STM, ESP и т.д.) или RaspberryPi.
5. Персональный компьютер.
6. Простейшая электронная компонентная база (резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и т.п).

7. Оптическая щель.

8. Источник лазерного излучения.

9. Белый экран с миллиметровой разметкой.

10. Оптическая скамья.

11. Кронштейны для оптической скамьи.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ Профиль «Электронные системы»

Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны когерентного и монохроматического источника излучения

6. Требования к представлению решения кейса

Разрабатываемый прототип устройства должен представлять собой единую работающую систему в соответствии с техническими требованиями. Должна быть представлена документация и видеодемонстрация.

В предоставляемой документации должно присутствовать:

1) Титульный лист (школа, авторы, название кейса, название команды, руководитель).

2) Цель и задачи работы.

3) Описание команды, распределение ролей, функций и обязанностей каждого участника команды.

4) Общее описание функций разработанного решения (теоретическое описание функций, которое реализует разработанное устройство) и изложены принципы проводимых измерений.

5) Описание используемых аппаратных и программных узлов, модулей, фреймворков и других инструментов.

6) Описание схемы разработанного устройства в виде изображений электрической принципиальной, оптической схемы и блок схемы. При наличии монтажной схемы допускаются топологии собственной разработанной печатной платы.

7) При наличии 3D-моделей предоставлять их в форматах .obj, .stl или .step, скриншоты разработанных 3D-моделей (как системы в целом, таким и отдельных её частей). 3D-модели должны находиться в репозитории проекта в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.)

8) Алгоритм разработанного программного обеспечения в виде блок-схем или с подробным текстовым описанием со ссылками на листинг программы.

9) Код разработанного программного обеспечения должен быть представлен в виде ссылки на репозиторий проекта с кодом в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.) или в виде листинга программы в текстовом варианте. Любые архивы с загруженными исходными кодами (.zip, .rar и т.п.) загружать в другие хранилища данных запрещается. В работе должны быть отображены программная среда разработки и её версия.

10) Фотографии разработанного устройства и его составных частей, демонстрирующие правильность собранной схемы, и ссылка на видеоролик с демонстрацией.

11) Результаты исследовательской части и вывод по проведённым исследованиям.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Профиль «Электронные системы»**

**Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны
когерентного и монохроматического источника излучения**

12) Заключение, анализ функционирования разработанного устройства, предложения по возможному улучшению устройства

13) Список литературных источников.

Видеоролик должен демонстрировать технические требования к разрабатываемому изделию в соответствии с техническим заданием и проводимыми испытаниями в соответствии с регламентом испытаний. На видео необходимо продемонстрировать прохождение каждого, описанного в регламенте, испытаний в соответствии с условиями. Видео испытаний готового решения должно однозначно подтверждать авторство участников (во время записи ролика необходимо чётко произнести название команды, ФИО участников, номер школы, ФИО руководителя). Видеоролик располагается на стороннем видеохостинге (ВКонтакте, Rutube и др.). Ссылка на видеоролик располагается в репозитории в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.). Весь порядок испытаний от подготовки к испытаниям до завершения последнего этапа должен быть записан на видео одним дублем без склейки и монтажа. В течение всего видео в кадре должны быть разработанная командой система и, как минимум, один из участников команды, выполняющий все операции с системой. Вход и выход участников, передача инструмента, деталей и других вещей из кадра недопустимо. Допускается использование второй камеры для более детализированной демонстрации ключевых моментов. Видео должно быть со звуком, на котором отчётливо слышны подаваемые голосовые команды и действия команды. На видеозаписи должны быть хорошо различимы все элементы, влияющие на оценивание результативности: размер устройства/устройств, инициализация устройства/устройств, результат действий устройства/устройств согласно испытаниям. В случае если эксперты не смогут по видеозаписи однозначно понять результат выполнения задания, принимается решение не в пользу участника.

7. Методические материалы (необходимые программы, ссылки, научная литература, онлайн курсы и т.д.)

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ. Изд. 2-е. – М.: Издательство БИНОМ. 2016. – 704 с.
2. 1. Саймон Монк. Програмируем Arduino. Профессиональная работа со скетчами, Издательский дом «Питер», 2017.
3. 2. Arduino. Быстрый старт. Первые шаги по освоению Arduino, Мак-скит 2015.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Профиль «Электронные системы»**

**Кейс №2 Автоматизированная система определения длины волны
когерентного и монохроматического источника излучения**

4. Соколов С. В., Титов Е. В., Электроника [Электронный ресурс]: - Москва: Горячая линия-Телеком, 2017.
5. Бабенко В. П., Битюков В. К. Схемотехника источников вторичного питания [Электронный ресурс]: практикум. - М.: РТУ МИРЭА, 2019.
6. Методы и технические средства измерения параметров оптического излучения: учебное пособие / А. А. Черторийский. – 121 с. Ульяновск: УлГТУ, 2020.
7. Белов А.В. Программирование ARDUINO. Создаем практические устройства + виртуальный диск.- СПб.: Наука и Техника, 2018. - 272 с.
8. Торшина И. П., Якушенков Ю. Г. Выбор приемника излучения при проектировании оптико-электронного прибора: учебное пособие. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2017. –58 с.
9. Ламкин И. А., Тарасов С. А., Пихтин А. Н. Л21 Основы фотоники: лаб. практикум. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2020. 62 с.
10. Методы и технические средства измерения параметров оптического излучения: учебное пособие / А. А. Черторийский. – 121 с. Ульяновск: УлГТУ, 2020.
11. А.В. Прокофьев, Метрология оптико-электронного приборостроения.– СПб: НИУ ИТМО, 2012
12. Е. Д. Шабалдин, Г. К. Смолин, В. И. Уткин, А. П. Зарубин Метрология и электрические измерения: учебное пособие / Е. Д. Шабалдин [и др.]; под ред. Е. Д. Шабалдина. 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2013. 320 с. ISBN 978-5-8050-0510-8.