

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт физики

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ
СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК**

Казань – 2024

*Печатается по решению
Учебно-методической комиссии Института физики КФУ
(протокол №2 от 7 октября 2024 г.)
кафедры оптики и нанофотоники
(протокол №7 от 2 сентября 2024 г.)*

Рецензент
доктор физико-математических наук,
профессор Института физики КФУ **В.В. Семашко**

Камалова Д.И., Сибгатуллин М.Э. Исследование излучения источников света с помощью дифракционных решеток: учебно-методическое пособие / Д.И. Камалова, М.Э. Сибгатуллин. – Казань: Казан. ун-т, 2024. – 24 с.

Учебное издание содержит теоретическое описание и методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование излучения источников света с помощью дифракционных решеток». Лабораторная работа связана с исследованием излучения спектральной лампы при помощи дифракционной решетки, определением длины волны излучения полупроводникового лазера, а также измерением интенсивности максимумов дифракции света на решетках с различной частотой штрихов. Работа выполняется на лабораторном комплексе фирмы LEYBOLD DIDACTIC GMBH (Hurth, Германия).

Предназначено для студентов Института физики.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Теоретическая подготовка к работе	5
Правила техники безопасности при работе с лазером	14
Экспериментальная установка	15
Лабораторное задание №1. Определение длины волны лазерного излучения с помощью набора дифракционных решеток с различным числом штрихов на мм	16
Лабораторное задание №2. Определение интенсивности максимумов дифракции света на различных дифракционных решетках	19
Лабораторное задание №3. Исследование излучения спектральной лампы с помощью дифракционной решетки	21
Контрольные вопросы	23
Список рекомендуемой литературы	24

ВВЕДЕНИЕ

Исследование спектрального состава и интенсивности излучения позволяет экспериментально решать большинство задач спектрального анализа вещества. Этот анализ в оптике часто осуществляется с помощью спектральных приборов с диспергирующими элементами, в частности с дифракционными решетками. Устройство и параметры этих элементов могут быть самыми разнообразными в соответствии с поставленной задачей. Для правильного подбора диспергирующего элемента в спектральном приборе необходимо иметь представление о принципах, лежащих в основе построения дифракционных решеток, и знать их характеристики.

Создание дифракционных решеток является сложной технической задачей, и ее решением занимались многие исследователи. Первая дифракционная решетка была построена Риттенгаузом в 1785 году, но не была использована. Решетка была вновь открыта в 1821 году Фраунгофером и представляла собой стеклянную пластину с непрозрачными штрихами, нанесенными алмазным резцом. Дифракционная решетка работала в проходящем свете. Им же предложен метод получения отражательной решетки, которая образуется, если нарезку делать на зеркальной поверхности металла.

Роуланд усовершенствовал технологию изготовления решеток и дал теорию отражательной вогнутой решетки, выполняющей одновременно роль решетки и собирающей линзы. Вуд объединил принципы работы эшелона Майкельсона и отражательной плоской решетки. Он создал ступенчатые отражательные решетки – эшелетты, позволяющие достигнуть максимальной эффективности в определенном порядке дифракции.

Целью настоящей работы является исследование излучения источников света с помощью набора дифракционных решеток с различным числом штрихов на миллиметр. При этом решаются задачи, связанные с исследованием излучения спектральной лампы при помощи дифракционной решетки, определением длины волны излучения полупроводникового лазера, а также измерением интенсивности максимумов дифракции света на решетках с различной частотой штрихов. В данном пособии описываются теоретические основы принципов дифракции оптического излучения, типы дифракционных решеток и их характеристики, лабораторные задания и список контрольных вопросов для закрепления изученного материала. Работа выполняется на лабораторном комплексе фирмы LEYBOLD DIDACTIC GMBH (Hurth, Германия).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Дифракционная решетка – оптический прибор, представляющий собой периодическую структуру из большого числа регулярно расположенных элементов, на которых происходит дифракция света. Штрихи с определенным и постоянным для данной дифракционной решетки профилем повторяются через одинаковый промежуток, называемый периодом решетки. Основное назначение дифракционной решетки – разложение света в спектр и измерение длин волн. Обычно параллельные и равноотстоящие штрихи наносятся на плоскую или вогнутую оптическую поверхность.

Различают отражательные и прозрачные (пропускающие) дифракционные решетки. У отражательных решеток штрихи наносятся на зеркальную (обычно металлическую) поверхность, и наблюдение ведется в отраженном свете. У прозрачных решеток штрихи наносятся на поверхность прозрачной (обычно стеклянной) пластинки (или вырезаются в виде узких щелей в непрозрачном экране), и наблюдение ведется в проходящем свете.

Дифракционные решетки, применяемые для работы в различных областях спектра, отличаются размерами, формой, материалом поверхности, профилем штрихов и их частотой. Для ультрафиолетовой и видимой областей наиболее типичны решетки, имеющие от 300 до 1200 штрихов на мм.

В 70-х годах прошлого века была разработана технология изготовления дифракционных решеток, основанная на создании периодического распределения интенсивности на специальных фоточувствительных материалах в результате интерференции лазерного излучения. Такие решетки называются голографическими. Их получают посредством двух расширяющихся и пересекающихся лазерных лучей, например, аргонового с длиной волны 488 нм, которые образуют интерференционную картину в форме требуемой решетки. Затем соответствующим фотохимическим процессом бороздки (штрихи) протравливаются и покрываются защитным слоем SiO_2 (напылением). В практике изготовления дифракционных решеток производится сначала оригинал определенного типа решетки, а затем по нему делают много точных копий.

Действие дифракционной решетки легко понять, рассмотрев интерференцию отдельных плоских волн, испытавших дифракцию на щелях решетки. В результате интерференции волн, исходящих из соседних щелей, будут наблюдаться максимумы, когда разность хода между волнами будет равна целому числу длин волн (рис. 1). Элементарное геометриче-

ское рассмотрение позволяет определить положение максимумов, задаваемое известной формулой

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (1)$$

Здесь d – суммарная ширина прозрачного и непрозрачного участка решетки (постоянная решетки), φ – угол дифракции, k – целое число, называемое порядком дифракции. Из формулы видно, что угол дифракции зависит от длины волны, именно это дает возможность применять решетку в качестве диспергирующего элемента в спектральных приборах.

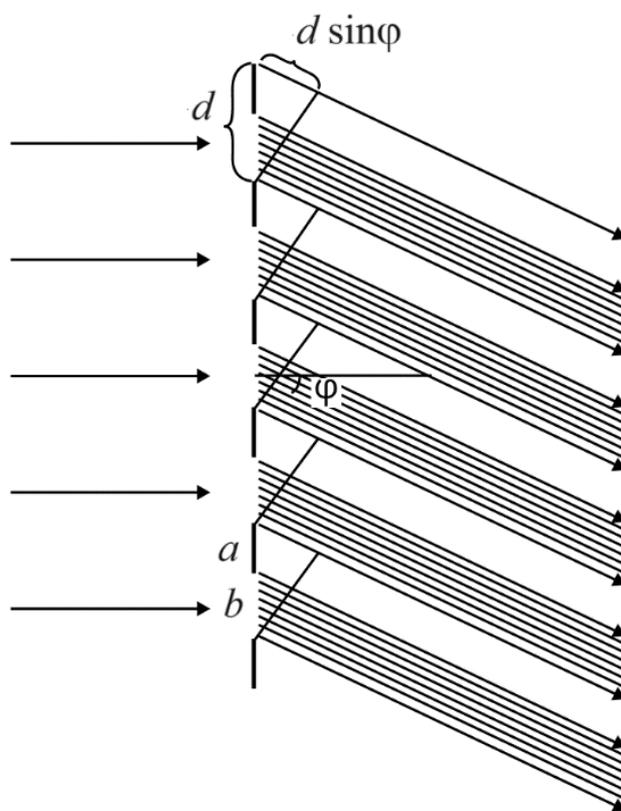


Рис. 1. Дифракция на прозрачной решетке при нормальном падении света на решетку

Если волна падает на решетку наклонно под углом θ (рис. 2), то разность хода между соседними пучками становится равной $d(\sin \varphi - \sin \theta)$. Характер дифракционной картины в основном сохраняется. Положение главных максимумов определяется условием

$$d(\sin \varphi - \sin \theta) = k \lambda, \quad (2)$$

а дифракционных минимумов – условием

$$d(\sin \varphi - \sin \theta) = (k + \frac{p}{N})\lambda, \quad (p = 1, 2, \dots, N-1), \quad (3)$$

где N – общее число щелей.

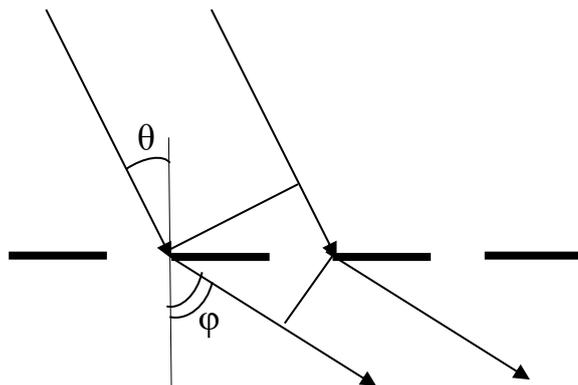


Рис. 2. Дифракция на прозрачной решетке при наклонном падении света на решетку

Между двумя соседними минимумами получается максимум. Такие максимумы называются второстепенными или добавочными. Между двумя соседними главными максимумами располагается $N-1$ минимумов и $N-2$ добавочных максимумов. На эти максимумы и минимумы накладываются минимумы, возникающие при дифракции от одной щели. Второстепенные максимумы слабы по сравнению с главными максимумами. При большом числе щелей они обычно не играют роли. Второстепенные максимумы создают более или менее равномерный слабый фон, на нем выступают узкие и резкие главные максимумы, в которых концентрируется практически весь дифрагированный свет (рис. 3). Зная положение главных максимумов, можно вычислить длину волны по формуле (1) или (2).

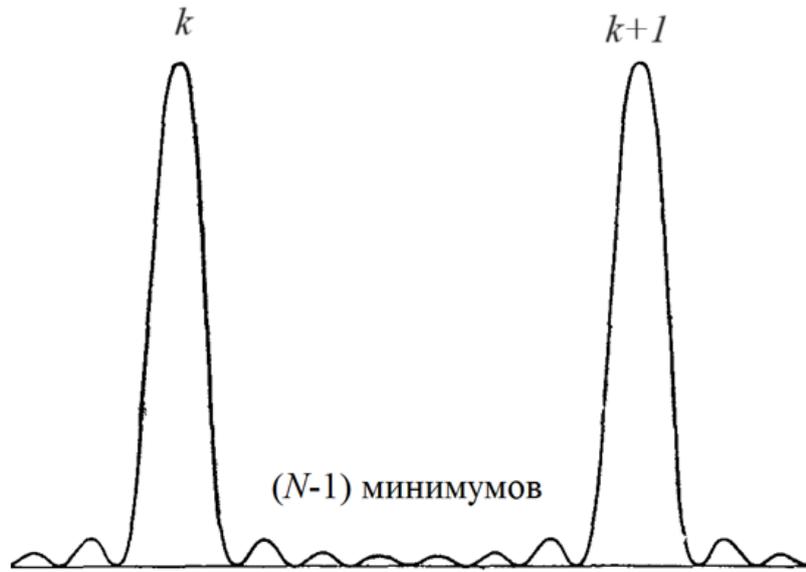


Рис. 3. Распределение интенсивности в дифракционной картине от восьми щелей

Важными характеристиками дифракционной решетки и других спектральных приборов являются угловая дисперсия, дисперсионная область и разрешающая способность.

Угловой дисперсией называется производная

$$D_{\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda}. \quad (4)$$

Чем больше угловая дисперсия, тем больше расстояние в спектре между двумя спектральными линиями с фиксированными длинами волн. Выражение для угловой дисперсии можно получить, дифференцируя формулу (2) по λ при постоянном θ :

$$D_{\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi} = \frac{\sin \varphi - \sin \theta}{\lambda \cos \varphi}. \quad (5)$$

Следовательно, угловая дисперсия не зависит от параметров решетки, а определяется помимо длины волны только углами дифракции φ и падения θ . При заданных d и k она возрастает с увеличением угла дифракции φ .

Для случая нормального падения света на решетку ($\sin\theta = 0$) формула (5) принимает вид

$$D_\varphi = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\lambda}. \quad (6)$$

Для отражательной дифракционной решетки $\sin\theta = -\sin\varphi$, и для D_φ получим

$$D_\varphi = \frac{2\operatorname{tg}\varphi}{\lambda}. \quad (7)$$

Если спектры соседних порядков перекрываются, то спектральный прибор становится непригодным для исследования соответствующего участка спектра. Максимальная ширина спектрального интервала $\Delta\lambda$, при которой еще нет перекрытия, называется дисперсионной областью спектрального прибора. Пусть длины волн падающего излучения лежат в спектральном интервале от λ до $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$. Пусть правый конец спектра $(k+1)$ порядка для длины волны λ совпадает по своему положению с левым концом спектра k порядка для длины волны λ' . Тогда

$$\begin{aligned} d(\sin\varphi - \sin\theta) &= k\lambda', \\ d(\sin\varphi - \sin\theta) &= (k+1)\lambda. \end{aligned}$$

Отсюда

$$k\lambda' = (k+1)\lambda.$$

Следовательно, дисперсионная область дифракционной решетки равна

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{\lambda}{k}. \quad (8)$$

При заданной длине волны она определяется только порядком спектра k . Чем больше k , тем уже дисперсионная область. Поскольку при работе с дифракционными решетками используются спектры низких порядков, дифракционные решетки характеризуются широкими областями дисперсии и пригодны для исследования широких участков спектра.

Разрешающая способность R дифракционной решетки дается формулой:

$$R = \lambda / \delta\lambda, \quad (9)$$

где $\delta\lambda$ есть разность длин волн между двумя спектральными линиями одинаковой интенсивности. По критерию Рэлея две спектральные линии с

близкими длинами волн λ и λ' считаются разрешенными, если главный максимум для одной длины волны совпадает по своему положению с первым дифракционным минимумом в том же порядке для другой длины волны. Если такой критерий выполняется, то на основании формулы (3) можно записать

$$d(\sin \varphi - \sin \theta) = \left(k + \frac{1}{N}\right)\lambda,$$

$$d(\sin \varphi - \sin \theta) = k\lambda'.$$

Отсюда $\left(k + \frac{1}{N}\right)\lambda = k\lambda'$, и, следовательно, $\delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda/(Nk)$. Тогда

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = Nk. \quad (10)$$

Таким образом, разрешающая способность определяется, кроме порядка спектра, общим числом щелей решетки. Очевидно, что существенное увеличение числа штрихов решетки возможно лишь за счет уменьшения ее постоянной. В ином случае решетка будет недопустимо больших размеров. Таким образом, желание иметь большую разрешающую способность заставляет увеличивать число штрихов и соответственно уменьшать постоянную решетки. Для увеличения разрешающей способности можно также увеличить порядок спектра, но при этом, как было сказано выше, существенно сужается дисперсионная область.

Приведем анализ дифракции на решетке традиционным методом, в котором рассматривается дифракция на одной из щелей, а затем суммируется излучение от их совокупности. Пусть свет падает на решетку под углом θ . Действие дифракционной решетки рассмотрим как результат интерференции когерентных пучков света, дифрагировавших на отдельных щелях решетки. Как известно из теории дифракции на одной щели, амплитуда волны, дифрагирующей в направлении угла φ , пропорциональна величине $\frac{\sin u}{u}$, где $u = \frac{\pi}{\lambda} b' \sin \alpha$, $\alpha = \varphi - \theta$ – угол дифракции при наклонном падении, $b' = b \cos \theta$ – проекция ширины щели на поверхность волнового фронта падающего светового пучка, b – ширина одной щели. Результирующее колебание, обусловленное всеми дифрагированными в направлении угла φ волнами, можно представить в комплексной форме

$$S = A_0 \frac{\sin u}{u} (1 + e^{i\delta} + e^{i2\delta} + e^{i3\delta} + \dots + e^{i(N-1)\delta}). \quad (11)$$

Здесь A_0 – множитель пропорциональности, $\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}$ – разность фаз между двумя пучками, дифрагировавшими от соседних щелей. Геометрическая разность хода

$$\Delta = \Delta_2 - \Delta_1 = d(\sin\varphi - \sin\theta),$$

следовательно,

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d(\sin\varphi - \sin\theta).$$

В формуле (11) имеем сумму первых N членов геометрической прогрессии с показателем $e^{i\delta}$. Проведя суммирование, получим

$$S = A_0 \frac{\sin u}{u} \frac{e^{iN\delta} - 1}{e^{i\delta} - 1}.$$

Тогда для получения распределения интенсивности по углам дифракции нужно умножить S на комплексно сопряженную величину S^* :

$$I = SS^* = A_0^2 \frac{\sin^2 u}{u^2} \frac{1 - \frac{1}{2}(e^{iN\delta} + e^{-iN\delta})}{1 - \frac{1}{2}(e^{i\delta} + e^{-i\delta})}. \quad (12)$$

Переходя от комплексных функций к тригонометрическим, получим

$$I = A^2 \frac{\sin^2 u}{u^2} \frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v}, \quad (13)$$

где $v = \frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{\lambda} d(\sin\varphi - \sin\theta)$.

Таким образом, распределение интенсивности по углам, даваемое дифракционной решеткой, может быть представлено в виде

$$I = A^2 I_1(u) I_2(v) = I_0 I_1(u) I_2(v),$$

где

$$I_1(u) = \frac{\sin^2 u}{u} \quad \text{и} \quad I_2(v) = \frac{\sin^2 Nv}{Nv} .$$

При нормальном падении света на дифракционную решетку ($\theta = 0$) интенсивность дифрагированного света определяется следующей формулой:

$$I(\varphi) = I_0 \frac{\sin^2[\pi(\frac{b}{\lambda})\sin\varphi]}{[\pi(\frac{b}{\lambda})\sin\varphi]^2} \cdot \frac{\sin^2[N\pi(\frac{d}{\lambda})\sin\varphi]}{\sin^2[\pi(\frac{d}{\lambda})\sin\varphi]} . \quad (14)$$

Когда требуется перераспределить интенсивность дифракционной картины и концентрировать световую энергию с нулевого порядка дифракции на требуемый порядок, применяют отражательные дифракционные решетки с профилированным штрихом. Это делают путем внесения дополнительной разности фаз в пучки, отраженные от соседних штрихов.

В 1882 году Роуланд предложил совместить фокусирующие свойства вогнутого зеркала с диспергирующими свойствами нарезанной на его поверхности дифракционной решетки. Такие решетки получили название вогнутых и широко применяются в оптических приборах. Если вогнутую решетку и входную щель прибора расположить на окружности радиусом вдвое меньшим радиуса кривизны решетки, то спектр фокусируется на той же окружности, называемой кругом Роуланда (рис. 4).

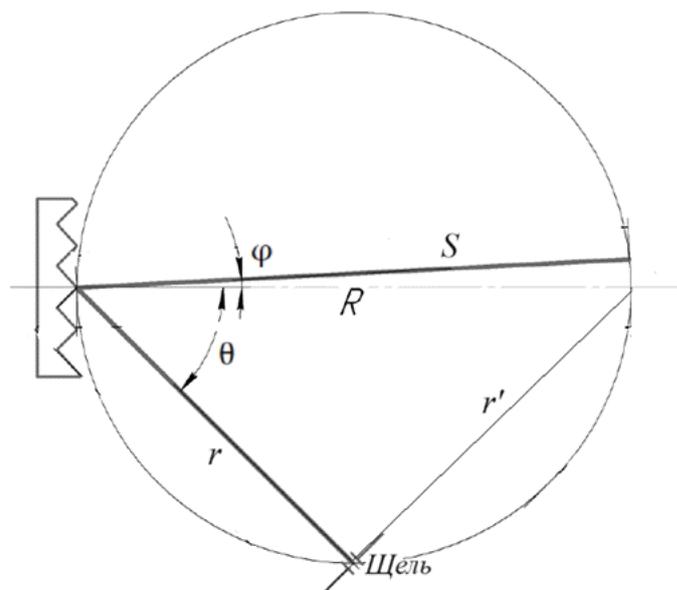


Рис. 4. Круг Роуланда

Рассмотрим два соседних штриха решетки, на которых углы падения и дифракции равны θ и φ для одного штриха, $\theta + \Delta\theta$ и $\varphi + \Delta\varphi$ для соседнего штриха. Ширину штриха обозначим через b . Запишем условия главных максимумов

$$b(\sin\theta + \sin\varphi) = k\lambda, \quad (6)$$

$$b[(\sin\theta + \Delta\theta) + \sin(\varphi + \Delta\varphi)] = k\lambda. \quad (7)$$

Вычитая (6) из (7), из-за малости углов $\Delta\theta$ и $\Delta\varphi$ получим

$$\cos\theta\Delta\theta + \cos\varphi\Delta\varphi = 0.$$

Можно показать, что расстояние r от входной щели до середины решетки и расстояние S от изображения щели до середины решетки с радиусом кривизны R (рис. 4) связаны основным уравнением вогнутой дифракционной решетки:

$$\left(\frac{b\cos\theta}{r} - \frac{b}{R}\right)\cos\theta + \left(\frac{b\cos\varphi}{S} - \frac{b}{R}\right)\cos\varphi = 0,$$

$$\frac{\cos^2\theta}{r} - \frac{\cos\theta}{R} + \frac{\cos^2\varphi}{S} - \frac{\cos\varphi}{R} = 0. \quad (8)$$

Если входная щель прибора находится на окружности диаметром R , проходящей также через середину решетки, то для нее $r = R\cos\theta$. Подставив это выражение в (8), получим $\frac{r}{R^2} - \frac{r}{R^2} + \frac{\cos^2\varphi}{S} - \frac{\cos\varphi}{R} = 0$, откуда $S = R\cos\varphi$, то есть изображение входной щели также находится на той же окружности. В плоскости, перпендикулярной плоскости дисперсии, вогнутая решетка действует как вогнутое зеркало и дает изображение с линейным увеличением, равным $-S/R$.

В качестве источников излучения в различных спектральных областях используются лампы накаливания, газоразрядные лампы, твердотельные лампы и лазеры. В данной лабораторной работе исследуется излучение полупроводникового лазера и спектральной лампы. Спектральные лампы представляют собой газоразрядные лампы, которые излучают свет при пропускании электрического тока через газ в результате ионизации.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЛАЗЕРОМ

В лабораторной работе используется лазер с длиной волны 532 нм (зеленый) и мощностью 7 мВт, поэтому необходимо соблюдение мер безопасности. Неправильное использование лазеров представляет угрозу для здоровья, особенно для глаз. Студенты, использующие лазер, должны быть ознакомлены с рекомендациями по работе с лазером и находиться под контролем преподавателя, инженера или лаборанта.

Общие рекомендации пользователю:

- Проверьте лазер на исправность перед использованием;
- Никогда не смотрите на луч;
- Примите необходимые меры, чтобы посторонние случайно не попали в область луча;
- Не направляйте луч на отражающие поверхности и на людей;
- Не работайте с отражающими инструментами близко от хода луча;
- Снимите все драгоценности и наручные часы при работе с лазером, чтобы избежать отражений;
- Помещая или удаляя оптические элементы в световом луче, выключите лазер или закройте его выход;
- Используйте лазерные защитные очки в случае необходимости;
- Используйте лазерную систему только в соответствии с инструкцией.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка включает следующие элементы (рис. 5):

- Плоско-выпуклая линза с фокусным расстоянием $f = 40$ мм
- Двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием $f = 60$ мм
- Расширитель пучка 6 крат
- Расширитель пучка 2,7 крат
- Набор из 5 пропускающих дифракционных решеток
- Оптический экран с масштабом XY
- Преобразователь сигнала фотодетектора
- Фотодетектор Si PIN
- Цифровой мультиметр
- Кабель к экрану
- Спектральная лампа со щелью и электропитанием
- Диодный лазер с длиной волны 532 нм
- Профильный рельс длиной 500 мм
- Подвижный шарнир
- Держатели

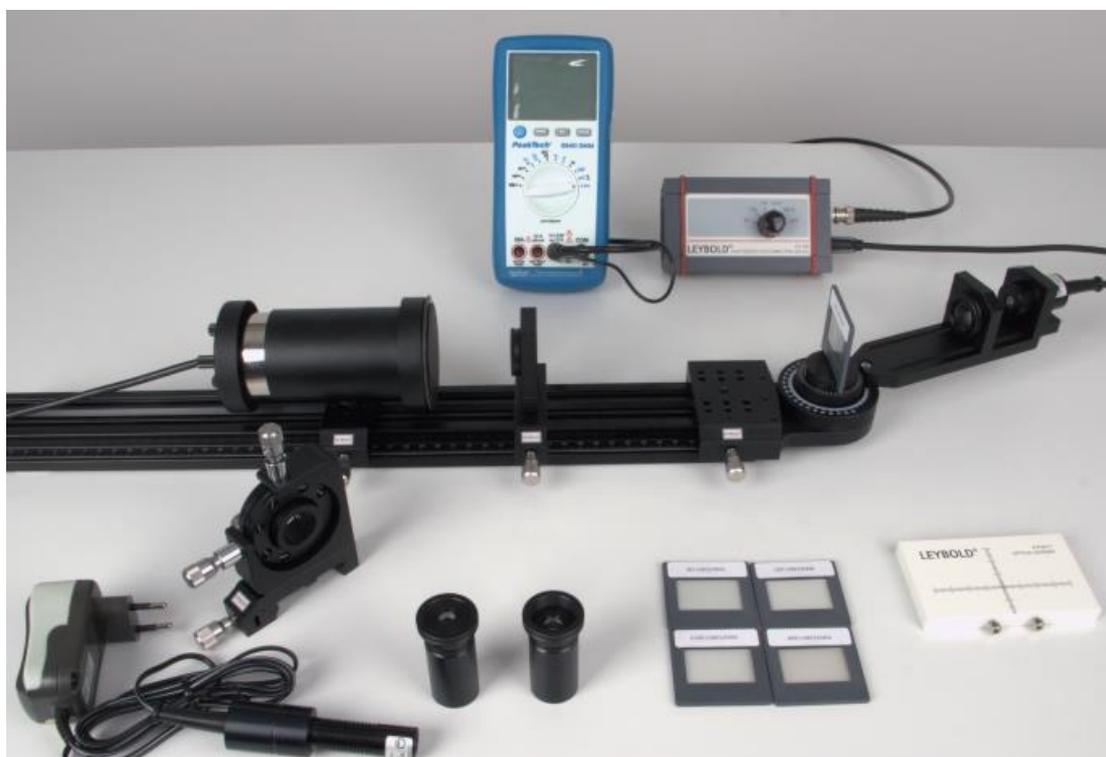


Рис. 5. Внешний вид экспериментальной установки

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ №1

Определение длины волны лазерного излучения с помощью набора дифракционных решеток с различным числом штрихов на мм

Установка на скамье содержит

- Профильный рельс длиной 500 мм
- Держатели
- Диодный лазер с длиной волны 532 нм
- Набор из 5 пропускающих дифракционных решеток
- Оптический экран с масштабом ХУ

1. На оптической скамье поместите диодный лазер в регулируемом держателе.
2. Установите держатель на скамью вдоль оптической оси и оптический экран в конце скамьи (рис. 6).



Рис. 6. Установка для измерения углов дифракции

3. Вставьте дифракционную решетку так, чтобы отраженный свет попал на входное окно диодного лазера.
4. Измерьте углы различных порядков дифракции, поворачивая держатель. Измеряя углы для положительных и отрицательных порядков дифракции, откалибруйте нулевой порядок дифракции так, чтобы он соответствовал нулевому углу.

5. Усредните измеренные положительные и отрицательные углы дифракции.
6. Зная число щелей на мм, вычислите постоянную решетки d .
7. Используя постоянную решетки d , вычислите длину волны по формуле

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}.$$

8. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерения углов дифракции
для решетки 80 штр/мм

Порядок дифракции	Угол φ , град	λ , нм	$\Delta\lambda$, нм
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

9. Вычислите ошибку определения $\Delta\lambda$ по формуле

$$\Delta\lambda = \frac{d \cos\varphi}{k} \Delta\varphi.$$

На данной установке угол φ измеряется с точностью 1° , поэтому примите ошибку $\Delta\varphi = 1^\circ$.

10. Повторите измерения для остальных дифракционных решеток.

11. Определите средние значения длины волн излучения для каждой из решеток. Результаты представьте в виде таблицы 2.

Таблица 2. Среднее значение длины волны для различных решеток со стандартным отклонением

Число штрихов на мм	λ , нм	$\Delta\lambda$, нм
80		
100		
300		
600		
1200		

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ №2

Определение интенсивности максимумов дифракции света на различных дифракционных решетках

Установка на скамье содержит

- Профильный рельс длиной 500 мм
- Держатели
- Диодный лазер с длиной волны 532 нм
- Набор из 5 дифракционных решеток
- Преобразователь сигнала фотодетектора
- Фотодетектор Si PIN
- Цифровой мультиметр
- Кабель BNC/4 mm



Рис. 7. Установка для измерения интенсивности максимумов дифракции

1. Замените оптический экран фотодетектором Si PIN в держателе (рис. 7). В конце скамьи фотоприемник связан с преобразователем сигнала и с цифровым мультиметром через кабель BNC.
2. Управляйте мультиметром в режиме напряжения и установите контроллер преобразователя так, чтобы выходное напряжение было нескольких сотен мВ. Обратите внимание на то, что преобразователь запускается с помощью 9-вольтовой батареи так, чтобы это было мак-

симальным выходным напряжением. Измерьте интенсивность максимумов в различных порядках дифракции.

3. На рис. 8 дан пример распределения интенсивности для решетки 300 штр/мм. В то время как многощелевая решетка дает острые пики в каждом порядке дифракции, огибающая амплитуд отдельных максимумов дает картину дифракции Фраунгофера от одной щели:

$$I(\varphi) = I_0 [\text{sinc}\beta]^2, \quad \beta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin\varphi.$$

Поэтому можно измерить независимо целую серию максимальных амплитуд и сопоставить их с картиной дифракции Фраунгофера, получив (среднюю) ширину каждой щели, как показано на рис. 8.

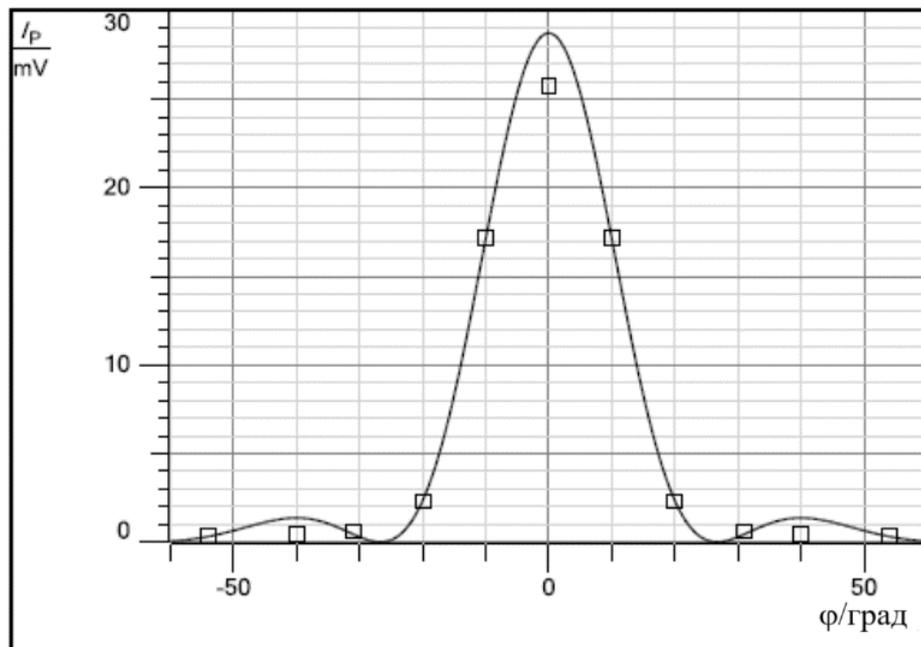


Рис. 8. Распределение интенсивности для пропускающей дифракционной решетки 300 штр/мм в случае дифракции Фраунгофера

4. Постоянная решетки, т.е. расстояние между двумя щелями, может быть вычислена из углового положения k -ого максимума и используемой длины волны. Используя длину волны $\lambda = 532$ нм, вычислите среднюю ширину щели b . Учитывая, что $d = a + b$, оцените, сколько процентов составляют прозрачные участки решетки и сколько непрозрачные.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ №3

Исследование излучения спектральной лампы с помощью дифракционной решетки

Установка на скамье содержит

- Профильный рельс длиной 500 мм
- Держатели
- Спектральная лампа со щелью и электропитанием
- Двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием $f = 60$ мм
- Набор из 5 дифракционных решеток
- Оптический экран с масштабом ХУ



Рис. 9. Установка для исследования спектральной лампы

1. Замените регулировочный держатель и лазерный модуль спектральной лампы (рис. 9). Перед спектральной лампой могут быть поочередно установлены две различные щели. Для этого эксперимента используйте более узкую щель.
2. Поместите пропускающую дифракционную решетку с частотой штрихов 1200 штр/мм в держатель и поместите оптический экран в конце подвижного держателя.
3. Поместите линзу в подвижный держатель так, чтобы на оптическом экране было яркое изображение щели.

4. Измерьте углы дифракции для различных линий. Для этого поверните поворотный держатель к положительным и отрицательным углам. Поместите ось Y по возможности в середине линии. Измеренные углы запишите в таблицу 3.

Таблица 3. Измеренные углы, соответствующие спектральным линиям

Спектральная линия (цвет)	Угол, град
фиолетовый	
синий	
бирюзовый	
зеленый	
желтый	
красный	

5. Зная число штрихов на мм (1200 штр/мм), вычислите постоянную решетки:

$$d = \frac{0,001}{1200} \text{ м} = 8,33 \times 10^{-7} \text{ м}.$$

6. Имея в виду, что цветные линии являются максимумами первого порядка, вычислите длины волн по следующей формуле:

$$\lambda = d \sin \theta.$$

Результаты представьте в виде таблицы 4.

Таблица 4. Длины волн излучения спектральной лампы

Спектральная линия (цвет)	λ , нм
фиолетовый	
синий	
бирюзовый	
зеленый	
желтый	
красный	

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое разрешающая способность дифракционной решетки и от чего она зависит?
2. Какой вид имеет дифракционная картина, полученная от пропускающей решетки?
3. Сформулируйте критерий Рэлея.
4. Запишите условие главных максимумов дифракции на решетке.
5. В чем преимущество вогнутой дифракционной решетки?
6. Что называют кругом Роуланда и в чем его особенность?
7. Что такое угловая дисперсия дифракционной решетки? От чего она зависит?
8. Что называется дисперсионной областью решетки?
9. Приведите формулу интенсивности дифрагированного на решетке света при нормальном падении лучей.
10. Как измерить длину волны лазера с помощью дифракционной решетки?
11. Определите постоянные решеток, используемых в данной лабораторной работе.
12. Назовите типы дифракционных решеток.
13. Как получают голографические решетки?
14. Нарисуйте оптическую схему эксперимента.
15. Какой тип решеток используется в данной лабораторной работе?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптика и фотоника. Принципы и применения: учебное пособие / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. В. Л. Дербова. Долгопрудный: Интеллект, Т. 1, 2. 2012. 780 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учебное пособие для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. 3-е изд., стереот. М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2002. 792 с.
3. LEYBOLD DIDACTIC GMBH (www.ld-didactic.com).