

В задаче требуется оценка погрешностей!

1 Введение

В оптике дифракция – явление, которое проявляет себя как отклонения в поведении светового излучения от законов геометрической оптики. Это возможно благодаря волновым свойствам света. Дифракция неразрывно связана с явлением интерференции. Интерференция – сложение волн, которое приводит к перераспределению энергии излучения в пространстве. В результате можно наблюдать на экранах темные и светлые участки. Это возможно только при условии равенства длин этих волн. Дифракционная решётка (ДР) – оптический элемент, состоящий из совокупности расположенных на плоской поверхности параллельных прозрачных щелей одинаковой ширины b , разделенных непрозрачными участками ширины a . Сумму ширин прозрачного и непрозрачного участков называют периодом решетки d .

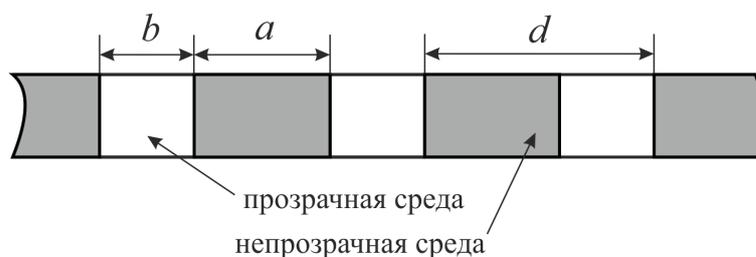


Рис. 1. Структура ДР

Именно периодическая структура обуславливает основные функциональные свойства ДР, главное из которых – отклонение падающего на нее луча света на разные углы в зависимости от длины волны излучения.

Рассмотрим принцип действия ДР. В своем рассмотрении мы будем основываться на принципе Гюйгенса-Френеля, смысл которого состоит в следующих положениях:

1. При распространении электромагнитной (световой) волны каждая точка волнового фронта является источником вторичной сферической волны. (Волновой фронт – множество точек, в которых электромагнитное поле колеблется в одинаковой фазе).
2. Результат совместного действия всех вторичных источников можно определить как сумму гармонических колебаний вида $A_i \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)$, (где A_i – амплитуда световой волны источника с номером i , ω – частота колебаний, t – время, φ_i – некоторая начальная фаза колебаний), или, другими словами, как интерференцию в данной точке пространства волн от всех элементарных источников с поверхности волнового фронта.

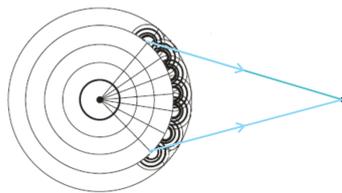


Рис. 2. Распространение излучения от вторичных источников

Для понимания интерференции определим в точке O амплитуду электромагнитного поля, создаваемого двумя *монохроматическими* волнами (т.е. волнами одной длины) от двух точечных источников A и B (такие источники называют *когерентными*).

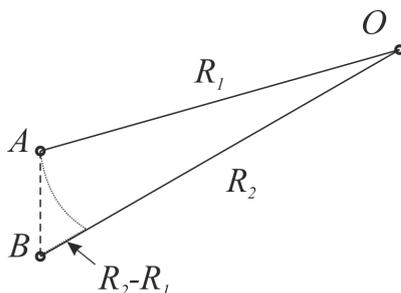


Рис. 3. Интерференция

Пусть каждый источник создает поле, напряжённость которого меняется со временем по гармоническому закону с одинаковой начальной фазой (источники синфазны). В точке O эти источники создают поля, меняющиеся по законам $A_1 \cos(\omega t)$ и $A_2 \cos(\omega t + \Delta\phi)$ соответственно. Результат их интерференции будет зависеть прежде всего от того, с какой разностью фаз $\Delta\phi$ приходят эти две волны. Если расстояния R_1 и R_2 равны, или их разность равна целому числу длин волн, то волны от источников придут в O в одной фазе. Амплитуда суммарного колебания $A = A_1 + A_2$. Если же разность расстояний R_1 и R_2 окажется равна нечетному числу длин полуволн, разность фаз составит π . В этом случае амплитуда суммарного колебания будет равна $A_1 + (-A_2)$. В случае равенства по модулю величин A_1 и A_2 результирующая амплитуда поля в точке O окажется нулевой.

Пусть на ДР падает световая волна с плоским фронтом (волновой фронт образует плоскость). Длина волны равна λ . Для простоты мы рассмотрим ДР, у которой всего 2 щели.

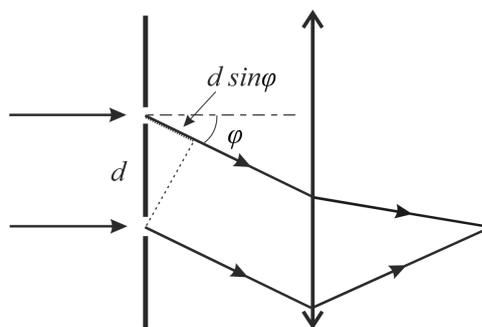


Рис. 4. Взаимодействие света с ДР

Если плоскость ДР параллельна фронту волны, излучение дойдёт до щелей решётки с одинаковой фазой. Щели решётки окажутся синфазными источниками вторичных волн, которые распространяются во всех направлениях и будут участвовать в интерференции.

Рассмотрим волны, отклоняющиеся от исходного направления на угол φ (угол дифракции). Тонкая линза соберет соответствующие лучи в одной точке. Фазы колебаний от разных щелей будут различны, поскольку разность хода лучей, пришедших от соседних щелей, как нетрудно заметить из простой геометрии, составит величину $d \sin \varphi$. В том случае, если $d \sin \varphi$ окажется кратным λ , то в этом направлении мы получим максимум поля светового излучения. Если же $d \sin \varphi$ окажется равным нечетному числу $\lambda/2$, то в этом направлении результирующая амплитуда поля достигнет своего минимума.

Направление лучей, соответствующее максимуму, определяется формулой:

$$d \sin \varphi = n\lambda,$$

n - целое число (так называемый «порядок дифракции»). Наиболее ярким является максимум нулевого порядка (соответствующий нулевому углу дифракции).

Таким образом, если на пути монохроматического светового пучка после ДР установить экран, мы увидим на нём не одно световое пятно (как того следовало ожидать в соответствии с геометрической оптикой), а несколько пятен. Форма и размеры световых пятен на экране будут обусловлены формой и протяжённостью светового источника, формирующего световой пучок. У больших по размеру источников пятна могут даже перекрываться, и картина "смазывается". Протяжённость источника можно искусственно изменять, устанавливая на пути излучения диафрагму, которая будет определять ширину пучка, падающего на ДР.

Источники оптического излучения, которые чаще всего встречаются в быту, излучают световые волны с разными длинами волн. Набор длин волн, которые испускаются источником, называют его *спектром*. Например, на рис. 5 приведен спектр лампы накаливания.

Спектральная плотность излучения – функция, описывающая распределение мощности излучения в зависимости от длины волны. Как физическая величина спектральная плотность излучения определяет мощность, приходящуюся на единичный интервал длин волн. На рис. 6 изображён график зависимости спектральной плотности излучения лампы накаливания от длины волны.

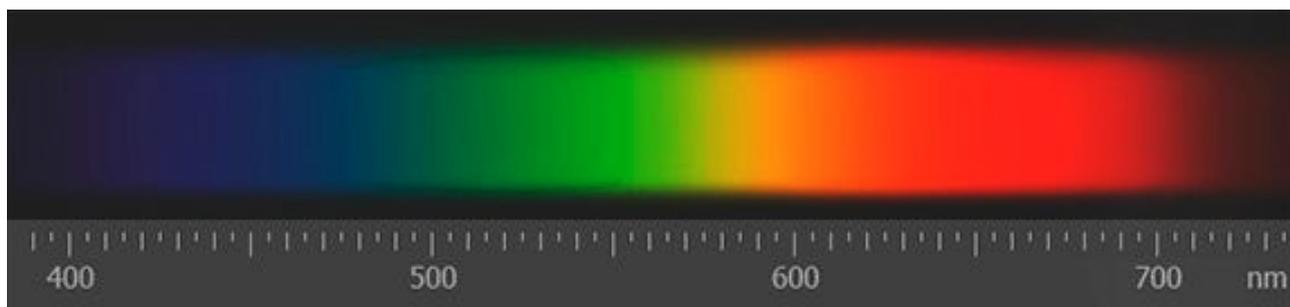


Рис. 5. Спектр лампы накаливания, видимый глазом

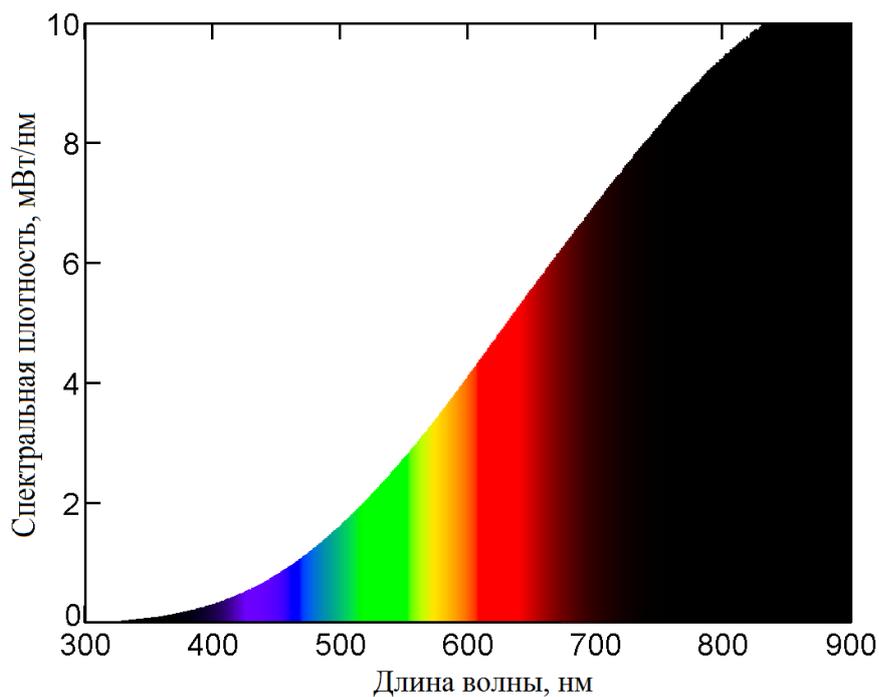


Рис. 6. График зависимости спектральной плотности излучения лампы накаливания от длины волны

Лазер – источник с очень узким спектром, то есть его можно считать монохроматическим. Волновой фронт лазерного пучка можно считать плоским. Этот факт делает лазер уникальным оптическим прибором. Любая хорошая линза фокусирует этот пучок практически в точку, и поэтому лазерное излучение опасно для глаз даже при небольшой мощности лазера.

2 Экспериментальная часть

2.1 Изучение дифракционной решётки

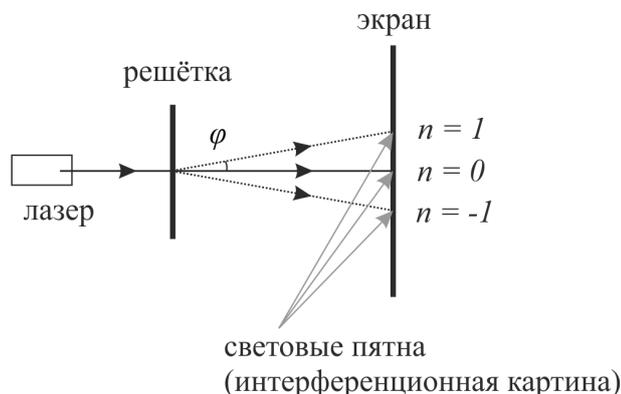


Рис. 7. Экспериментальная установка

Задание

В этом упражнении требуется с максимальной точностью измерить период имеющейся в вашем распоряжении дифракционной решётки. Для проведения измерений требуется собрать экспериментальную установку, схематично изображённую на рис. 7.

Луч лазера падает на дифракционную решётку по нормали. На экране будут видны световые пятна, соответствующие различным порядкам дифракции.

Старайтесь не прикасаться чем-либо к рабочей поверхности дифракционной решетки. Разрешается брать ее в руки за пластиковый корпус.

Запрещается направлять лазерное излучение в глаза себе или другим людям! Это опасно!

1. Прежде всего изготовьте экран. Для этого с помощью двух скрепок прикрепите лист миллиметровой бумаги к листу картона. Используя канцелярские зажимы, сделайте ножки, позволяющие экрану стоять на поверхности стола в вертикальном положении.
2. В лапку штатива установите лазер.
3. Используя два других канцелярских зажима, на поверхность стола в вертикальном положении установите дифракционную решётку.
4. Расположите элементы установки в соответствии с рис. 7. Так как в нашей установке расстояние от решетки до экрана $L \gg d$, то дифракционная картина будет наблюдаться и без линзы.
5. Определите значения $\sin \varphi$, соответствующие 1-му и (-1)-му порядкам дифракции ($n = \pm 1$) при длине волны λ .

6. Вычислите величину d , оцените погрешность.

Указание

Длина волны светового излучения лазера $\lambda = 650 \pm 10$ нм.

Оборудование

Лазерная указка, штатив с лапкой, дифракционная решётка, линейка, лист картона, 4 канцелярских зажима, лист миллиметровой бумаги, 2 скрепки.

2.2 Спектр газоразрядной лампы

Газоразрядная лампа – источник света, обладающий линейчатым спектром. В отличие от лампы накаливания, спектр которой сплошной, спектр газоразрядной лампы включает в себя отдельные длины волн. Такие спектры характерны для излучения газов. Например, на рис. 8 для примера представлен спектр излучения газообразного гелия.

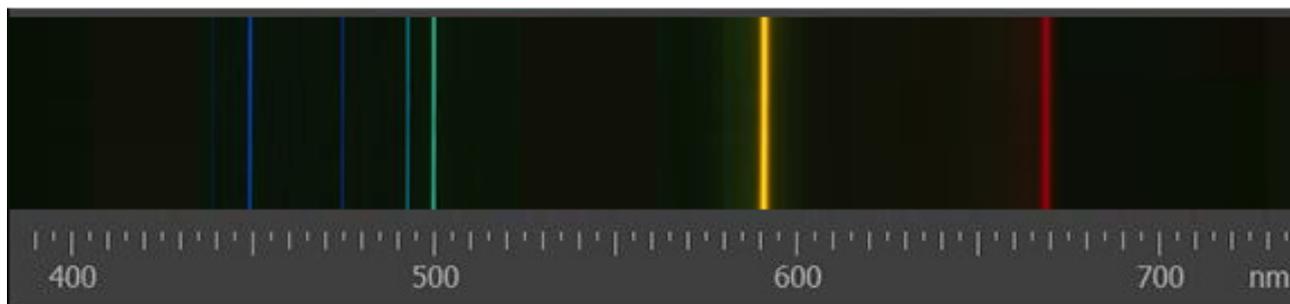


Рис. 8. Спектр гелия

Задание

1. В установке из предыдущего упражнения вместо лазера используйте газоразрядную лампу. Включите лампу. Изучите световую картину на экране. Ответьте на вопрос: почему на экране не удаётся получить чёткую дифракционную картину в виде отдельных пятен?

ВНИМАНИЕ! В лампе содержатся пары ртути. Будьте осторожнее, не разбейте ее!

2. Придумайте и изготовьте устройство, позволяющее устранить эффекты, мешающие наблюдению отдельных максимумов. Используйте картон, скрепки и канцелярские зажимы. Опишите это устройство в своём отчёте.

3. Меры, которые приходится применять, чтобы устранить вышеописанный эффект, приводят к тому, что интенсивность светового излучения, падающего на экран, крайне мала. Поэтому изучать дифракционную картину, создаваемую на экране, с достаточным для выполнения данного упражнения разрешением оказывается невозможно. Модифицируйте экспериментальную установку так, чтобы она позволяла *увидеть* дифракционную картину и измерить длины волн, входящих в спектр лампы. Опишите установку в своём отчёте.

4. Рассмотрите полученную дифракционную картину. Визуально на ней можно различить по цветам отдельные группы полос (в каждой группе присутствуют по 1-2 ярко выраженных чётких полосы).

Зарисуйте видимый спектр лампы. На рисунке введите обозначения для как минимум 4-х полос разных цветов (λ_1 , λ_2 и т.д.).

5. Определите длины волн обозначенных полос. Оцените погрешности.

Оборудование

Газоразрядная лампа с гнездом для включения в сеть питания, 2 листа картона, 4 канцелярских зажима, 2 скрепки, дифракционная решётка, линейка, лист миллиметровой бумаги, ножницы.

2.3 Спектр светодиода

Задание

1. Соберите установку, позволяющую увидеть спектр излучения светодиода. Светодиод очень яркий, поэтому рекомендуется использовать диафрагму для уменьшения интенсивности его излучения. **Телескопическую насадку светодиодного фонарика следует максимально вдвинуть в корпус фонарика.**
2. Что можно сказать о видимом спектре излучения светодиода? Качественно изобразите график зависимости спектральной плотности излучения от длины волны.
3. Проведя необходимые измерения, определите длины волн, интенсивность излучения светодиода на которых несет характер локального максимума или минимума спектра (в том числе на краях видимой области). Оцените погрешности измерений.

Оборудование

Светодиодный фонарик, штатив с лапкой, 2 листа картона, 4 канцелярских зажима, 2 скрепки, дифракционная решётка, линейка, лист миллиметровой бумаги.