

Федеральное агентство связи

Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и информатики

Межрегиональный центр переподготовки специалистов

Лабораторная работа

по предмету: Физика

на тему: Определение длины электромагнитной волны методом дифракции

Фраунгофера

Выполнил:

Михеев Дмитрий Сергеевич

Новосибирск 2015

1. Цель работы

Исследовать явление дифракции электромагнитных волн. С помощью дифракционной решетки проходящего света измерить длины электромагнитных волн видимого диапазона

2. Основные теоретические сведения

Дифракцией называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями (например, вблизи границ непрозрачных тел, сквозь малые отверстия и т.п.) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. В частности, дифракция приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени. Явление дифракции заключается в перераспределении светового потока в результате суперпозиции волн, возбуждаемых когерентными источниками, расположенными непрерывно.

Дифракция световых волн, являющихся частным случаем волн электромагнитных, может быть объяснена с помощью принципа Гюйгенса-Френеля. Согласно этому принципу, каждая точка среды, до которой дошел волновой фронт, может рассматриваться как точечный излучатель вторичной сферической волны, причем излучатели когерентны между собой. Огибающая вторичных сферических волн определяет форму волнового фронта в следующий момент времени. Угол θ , на который отклоняется волна от первоначального направления при дифракции, называется углом дифракции.

Наблюдение дифракции осуществляется обычно по следующей схеме.

На пути световой волны, распространяющейся от некоторого источника, помещается непрозрачная преграда, закрывающая часть волновой поверхности световой волны.

За преградой располагается экран, на котором возникает дифракционная картина.

Различают два вида дифракции. Если источник света и экран расположены от

препятствия настолько далеко, что лучи, падающие на препятствие, и лучи, идущие в

точку наблюдения на экране, образуют практически параллельные пучки, то говорят о дифракции Фраунгофера или дифракции в параллельных лучах. В противном случае говорят о дифракции Френеля. В данной лабораторной работе для исследования дифракции Фраунгофера используется дифракционная решетка проходящего света, которая представляет собой совокупность узких параллельных щелей, расположенных в одной плоскости (рис.1). Ширина всех щелей одинакова и равна b , а расстояние между щелями равно a . Величину

$$d=a+b$$

называют периодом (постоянной) дифракционной решетки. Если полное число щелей решетки равно N , то длина дифракционной решетки равна

$$r=Nd$$

Обычно, длина щелей много больше периода решетки, а ширина щели $b \ll d$.

Дифракционные решетки являются главной частью дифракционных спектрометров-приборов, предназначенных для измерения длин волн электромагнитного излучения, проходящего сквозь них. Найдем аналитическое выражение для определения длины волны света с помощью дифракционной решетки. Пусть когерентные волны 1 и 2 падают на решетку нормально к ее поверхности и дифрагируют под углом j (рис.2). При наблюдении в параллельных лучах под углом j между лучами соседних щелей возникает одна и та же разность хода $d \cdot \sin j$. Пройдя дифракционную решетку, волны интерферируют в плоскости экрана. Если в точке наблюдения M наблюдается интерференционный максимум, то разность оптических длин путей 1 и 2 должна быть равна целому числу длин волн:

$$Dx = m\lambda \quad m=0,1,2,j \quad (1)$$

Таким образом получаем:

$$d \sin j = m\lambda; \quad m=0,1,2,j \quad (2)$$

Рисунок 2. Дифракция света на решётке проходящего света

Очевидно, что две любые другие волны, аналогичные волнам 1 и 2 и проходящие на расстоянии d друг от друга, дадут вклад в формирование максимума в точке M , который называется главным максимумом. Условие $m=0$ в формуле (2)

соответствует значению $j=0$ и определяет интерференционное условие для центрального максимума, формируемого недифрагированными волнами, приходящими в центр экрана в одной фазе. При дифракции лучи могут отклоняться от первоначального направления распространения как влево, так и вправо. Отсюда следует, что дифракционный спектр должен быть симметричен относительно центрального максимума. Обозначим углы дифракции j для максимумов, расположенных слева от центрального, положительными, а справа-отрицательными. Тогда окончательное выражение для главных максимумов в дифракционном спектре:

$$d \sin j = \pm m\lambda \quad m=0,1,2,3,j \quad (3)$$

Значения m называют порядком дифракционного максимума. Главные максимумы различных порядков разделены в дифракционном спектре интерференционными (главными) минимумами, в которых волны складываются в противофазе и гасят друг друга попарно. Наряду с главными максимумами и минимумами в

дифракционном спектре присутствуют добавочные максимумы и минимумами, возникающие при интерференции дифрагированных волн, проходящих сквозь дифракционную решетку на расстояниях $d_1 > d$ или $d_2 < d$ одна от другой.

Если освещать решетку белым светом, в максимумах каждого порядка должны наблюдаться спектральные линии различных цветов от фиолетового до красного. В соответствии с формулой (3) линия красного цвета должна располагаться дальше от центра дифракционной картины по сравнению с линией фиолетового цвета в максимуме любого порядка. В данной работе измеряются дины волн красного и фиолетового цветов.

Для наблюдения максимумов и минимумов параллельные лучи обычно собирают (фокусируют) линзой, а экран располагают в ее фокальной плоскости.

Однако линза не обязательна. Ведь и без нее в точку наблюдения М приходят все лучи от решетки. Если экран расположен достаточно далеко, то сходящиеся лучи, приходящие в точку М, почти параллельны, и разность хода между ними почти такая же, как и между параллельными. В действительности она несколько больше, но если различие в разности хода много меньше, чем $l/2$, то оно не вносит существенных поправок в результат интерференции.

3. Описание лабораторной установки

Установка состоит из источника света "И", щели "Щ", линзы "Л1", дифракционной решетки "Р", линзы "Л2", экрана "Э" и светофильтра "Ф" (рис.3). Щель служит для формирования спектральных линий, разрешенных между собой и придания им формы, подобной форме щели.

Линза "Л1" предназначена для устранения расходимости светового пучка и получения резкого изображения спектра на экране.

Линза "Л2" фокусирует параллельные лучи, идущие от решетки. Экран расположен в фокальной плоскости линзы "Л2".

Рисунок 3. Оптическая схема лабораторной установки

Для определения длины волны используется формула (3).

При этом поступают следующим образом.

На экране измеряют расстояние l от центра дифракционной картины до центра максимума порядка m . Это расстояние делят на фокусное расстояние линзы "Л2".

Полученное отношение равно тангенсу угла дифракции j . Отсюда

(4)

Для выделения монохроматического излучения используют светофильтр.

4. Экспериментальные результаты

Окончательное значение длинны световой волны определяем, как среднее арифметическое значение для длин волн вычисленных при разных порядках дифракционного максимума:

Фокусное расстояние линзы Л2: $L = 30$ см.

Постоянная дифракционной решетки: $d = 5$ мкм.

Таблица1. Экспериментальные и расчетные данные

№ п/п

Светофильтр

т

л, м

лт, нм

л, нм

1

красный

1

0,0425

0,1403

701,33

700,665

2

красный

2

0,0875

0,2800

700,00

3

фиолетовый

1

0,0250

0,0830

415,23

415,11

4

фиолетовый

2

0,0505

0,1660

414,99

Вывод

В данной работе ставилась цель изучить явление дифракции электромагнитных волн и с помощью дифракционной решетки измерить длину соответствующей электромагнитной волны. Были получены длины волн для красного и фиолетового света, которые соответствуют теоретическим значениям, взятым из справочных таблиц. Независимо от порядка, длина волны остается постоянной.

Таблица 2

Цвет

Диапазон длин волн

Экспериментальные значения λ

$m=1$

$m=2$

Фиолетовый

380 - 450 нм

415,23 нм

414,99 нм

Красный

620 - 760 нм

701,33 нм

700,00 нм

Контрольные вопросы

1. Максимум какого наибольшего порядка может наблюдаться на данной дифракционной решетке?

Количество максимумов можно определить подставив в условие для дифракционных максимумов $\alpha = 90^\circ$:

Таким образом максимальный порядок максимума будет наблюдаться для минимальной длины световой волны (для фиолетового света):

2. Дайте понятие дифракции. В чем сущность принципа Гюйгенса-Френеля?

Дифракцией называется огибание волнами препятствий, встречающихся на их пути, или в более широком смысле - любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики. Благодаря дифракции волны могут попадать в область геометрической тени, огибать препятствия, проникать через небольшие отверстия в экранах и т. д. Например, звук хорошо слышен за углом дома, т. е. звуковая волна его огибает.

Явление дифракции объясняется с помощью принципа Гюйгенса, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн задает положение волнового фронта в следующий момент времени.

Пусть плоская волна нормально падает на отверстие в непрозрачном экране (рис. 4). Согласно Гюйгенсу, каждая точка выделяемого отверстием участка волнового фронта служит источником вторичных волн (в однородной изотропной среде они сферические). Построив огибающую вторичных волн для некоторого момента времени, видим, что фронт волны заходит в область геометрической тени, т. е. волна огибает края отверстия.

Рис. 4

Явление дифракции характерно для волновых процессов. Поэтому если свет является волновым процессом, то для него должна наблюдаться дифракция, т. е. световая волна, падающая на границу какого-либо непрозрачного тела, должна огибать его (проникать в область геометрической тени). Из опыта, однако, известно, что предметы, освещаемые светом, идущим от точечного источника, дают резкую тень и, следовательно, лучи не отклоняются от их прямолинейного распространения. Почему же возникает резкая тень, если свет имеет волновую природу? К сожалению, теория Гюйгенса ответить на этот вопрос не могла.

Принцип Гюйгенса решает лишь задачу о направлении распространения волнового фронта, но не затрагивает вопроса об амплитуде, а следовательно, и об интенсивности волн, распространяющихся по разным направлениям. Френель вложил в принцип Гюйгенса физический смысл, дополнив его идеей интерференции вторичных волн.

Согласно принципу Гюйгенса - Френеля, световая волна, возбуждаемая каким-либо источником S , может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, «излучаемых» фиктивными источниками. Такими источниками могут служить бесконечно малые элементы любой замкнутой поверхности, охватывающей источник S . Обычно в качестве этой поверхности выбирают одну из волновых поверхностей, поэтому все фиктивные источники действуют синфазно. Таким образом, волны, распространяющиеся от источника, являются результатом интерференции всех когерентных вторичных волн. Френель исключил возможность возникновения обратных вторичных волн и предположил, что если между источником и точкой наблюдения находится непрозрачный экран с отверстием, то на поверхности экрана амплитуда вторичных волн равна нулю, а в отверстии - такая же, как при отсутствии экрана.

Учет амплитуд и фаз вторичных волн позволяет в каждом конкретном случае найти амплитуду (интенсивность) результирующей волны в любой точке пространства, т. е. определить закономерности распространения света. В общем случае расчет интерференции вторичных волн довольно сложный и громоздкий, однако, как будет показано ниже, для некоторых случаев нахождение амплитуды результирующего колебания осуществляется алгебраическим суммированием.

3. Расскажите об устройстве и назначении дифракционной решетки проходящего света. дифракция свет волна спектр

Дифракционная решетка является основным элементом спектральных приборов и представляет собой периодическую структуру, выгравированную специальной делительной машиной на поверхности стеклянной пластинки. У хороших решеток на каждый миллиметр приходится до 2000 штрихов. На практике применяются также и более грубые решетки с 50 - 100 штрихами на миллиметр, нанесенными на поверхность прозрачной пленки. Простейшая дифракционная решетка состоит из прозрачных участков (щелей), разделенных непрозрачными промежутками. Дифракционная картина на решетке определяется как результат взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей, т.е. в решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света от всех щелей.

4. Объясните порядок чередования цветов в спектре, полученном в п.2 задания. Порядок чередования цветов дифракционной картины определяется условиями наблюдения максимумов для отдельных длин волн:

Таким образом, чем больше длина волны тем больше и тем дальше от центрального максимума находится максимум наблюдаемого света. Потому ближайший к центральному наблюдается максимум красного цвета, а самый дальний фиолетовый (для максимумов одного порядка).