

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2_5 ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Ю.В.Тихомиров

Ознакомьтесь с теорией в конспекте, учебнике (Савельев, т.2, §129,130) и в программе PHYSICS\BOOKS.exe компьютера (кнопки «Оптика», «Дифракционная решетка», «Физика»).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с моделированием процесса сложения когерентных электромагнитных волн.

- Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых волн с периодической структурой (дифракционной решеткой).

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Зарисуйте с экрана компьютера то, что расположено в трех прямоугольных рамках.

ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ называется совокупность большого числа N одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние, прямоугольных щелей в плоском непрозрачном экране.

ПЕРИОДОМ (постоянной) дифракционной решетки называется расстояние d между серединами соседних щелей или сумма ширины щели b и ширины непрозрачного участка a .

При анализе излучения, проходящего через решетку, обычно используют линзу и экран, расположенный в фокальной плоскости линзы на расстоянии L от нее. Линза собирает параллельные лучи в одну точку на экране. Положение X точки на экране зависит от угла падения θ лучей на линзу: $X = L \sin(\theta)$.

Для очень малых углов $\sin(\theta) = \theta$ и $X = \theta L$.

РАЗНОСТЬ ХОДА лучей от соседних щелей $\Delta = d \sin(\theta)$.

РАЗНОСТЬ ФАЗ лучей от соседних щелей $\delta = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta)$.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ, идущего от решетки под углом θ :

$$I_{\text{РЕШ}} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin \theta}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right)},$$

где I_0 - интенсивность, создаваемая одной щелью против центра линзы, b - ширина щели. Первый множитель обращается в 0 в точках, для которых $b \sin(\theta_k) = \pm k\lambda$ ($k = 1, 2, \dots$). Второй множитель принимает значение N^2 в точках, удовлетворяющих условию $d \sin(\theta_m) = \pm m\lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots$). Последнее условие определяет положение ГЛАВНЫХ МАКСИМУМОВ излучения, а m называется порядком максимума. Интенсивность в главном максимуме преобразуем, раскладывая синус в ряд и ограничиваясь первыми двумя членами разложения:

$$I_m = N^2 I_0 \frac{\sin^2 \left(\frac{\pi b \sin \theta_m}{\lambda} \right)}{\left(\frac{\pi b \sin \theta_m}{\lambda} \right)^2} = I_{0N} \frac{\sin^2 \left(m\pi \frac{b}{d} \right)}{\left(m\pi \frac{b}{d} \right)^2} = I_{0N} \left[1 - \frac{1}{6} \left(m\pi \frac{b}{d} \right)^2 \right]^2.$$

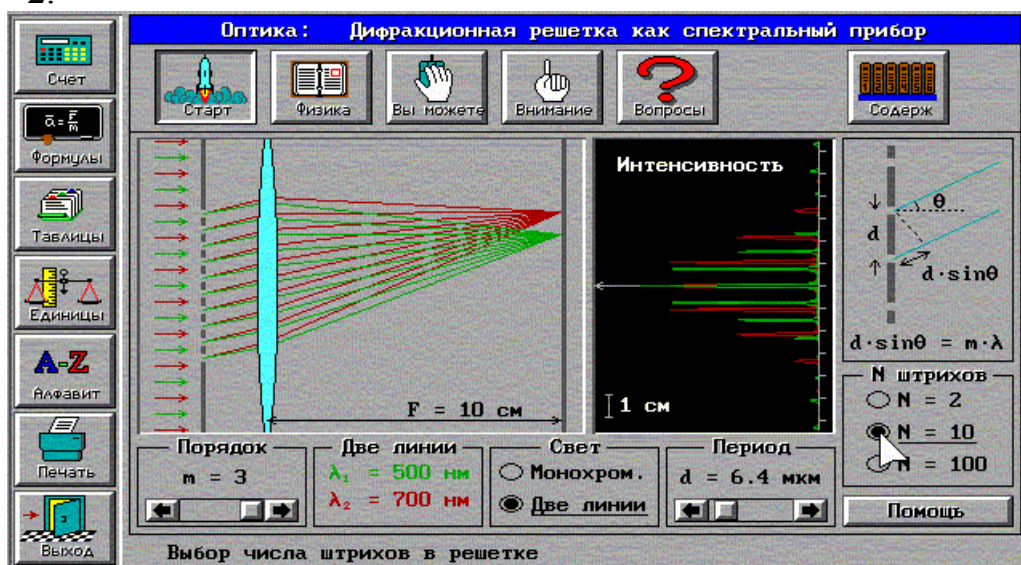
Обозначим $R_m = \frac{I_m}{I_{0N}}$.

Отношение R_m интенсивности в m -том максимуме к интенсивности в нулевом максимуме называется «относительной интенсивностью m -того максимума».

Формулу $\sqrt{R_m} = 1 - \frac{1}{6} (m\pi b)^2 \left(\frac{1}{d} \right)^2$ можно проверить экспериментально и из соответствующего графика получить ширину щели.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

При включении программы моделирования автоматически устанавливаются следующие параметры: порядок максимума $m=1$, минимальная длина волны 0.4 мкм, минимальное расстояние между щелями $d = 6$ мкм, количество щелей $N = 2$.



Нажимая левую кнопку мыши, установив ее маркер на регуляторе порядка максимума (слева внизу на экране), меняйте m от 0 до 3 и наблюдайте изменение картины интерференции на среднем экране. Установите длину волны излучения, соответствующую желтому цвету и, меняя m , снова наблюдайте и зарисуйте картину интерференции

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ЭКСПЕРИМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ

1. Установите максимальное количество щелей решетки $N = 100$, минимальное расстояние между щелями $d = 6$ мкм.
2. Подведите маркер мыши к вертикальной черте на спектре и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку в нажатом состоянии, перемещайте

черту до тех пор, пока над спектром не появится значение длины волны, равное взятому из таблицы 1 для вашей бригады

3. Измерьте линейкой на экране монитора длины светящихся отрезков, соответствующих интенсивности соответствующих максимумов на дифракционной картине. Запишите значения интенсивности в таблицу 2.

4. Увеличивая d на 0.5 мм, повторите измерения по п.3

5. Установив новое значение длины волны из таблицы 1 повторите измерения, записывая результаты в таблицу 3.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения длины волны (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1 [нм]	400	410	420	430	440	450	460	470
λ_2 [нм]	600	610	620	630	640	650	660	670

ТАБЛИЦЫ 2,3. Результаты измерений при $\lambda =$ _____ нм.

d [мкм]	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
$1/d^2$ [м] ⁻²									
I_{0N} [мм]									
I_1 [мм]									
I_2 [мм]									
I_3 [мм]									
I_4 [мм]									
$\sqrt{R_1}$									
$\sqrt{R_2}$									
$\sqrt{R_3}$									
$\sqrt{R_4}$									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицы 2 и 3 корни из относительных амплитуд максимумов. Постройте по таблице 2 на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей корня из относительной амплитуды от обратного периода решетки для всех максимумов (указав на них номер максимума). На втором рисунке постройте результаты по таблице 3.

2. По наклону каждого графика определите экспериментальное значение

ширины щели, используя формулу
$$b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\frac{\Delta(\sqrt{R_m})}{\Delta(\frac{1}{d^2})}}$$

3. Вычислите среднее значение ширины щели, проанализируйте ответы и графики.

Истинное значение $b = 1.4$ мкм.

Вопросы и задания для самоконтроля по работе 2_5

1. Дайте определение световой волны.
2. Дайте определение гармонической волны.
3. Дайте определение электромагнитной волны.
4. Напишите формулу зависимости напряженности электрического поля от времени и координаты для одномерной гармонической ЭМВ, распространяющейся вдоль оси ОХ.
5. Какие волны называются когерентными?
6. Дайте определение дифракции.
7. Что такое дифракционная решетка?
8. Для каких целей используется дифракционная решетка?
9. Что такое постоянная дифракционной решетки?
10. Зачем между дифракционной решеткой и экраном ставится собирающая линза?
11. Напишите формулу разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей дифракционной решетки.
12. Напишите формулу разности фаз лучей от соседних щелей.
13. Как формируются главные максимумы дифракционной картины?
14. Нарисуйте, как распространяется после решетки одна плоская гармоническая волна, падающая перпендикулярно плоскости решетки.
15. Нарисуйте, как будут распространяться после решетки две плоские гармонические волны с близкими длинами волн, падающие перпендикулярно плоскости решетки.
16. Можно ли сделать дифракционную решетку для радиолокационной волны? Как она будет отличаться от обычной дифракционной решетки для видимого света?