

Учреждение образования Республики Беларусь
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Кафедра "Физика и электротехника"

Отчёт

по лабораторной работе №3-3

"ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА ОТ ЩЕЛИ".

Выполнил студент гр. Э-12

Иванов П.А.

Проверил преподаватель

Петров Д.Д.

Гомель 2021

Лабораторная работа №3-3

Цель работы: 1. Наблюдение картины дифракции Фраунгофера от одиночной щели. Определение длины световой волны.

2. Экспериментальное определение ширины щели.

Приборы и принадлежности: He-Ne лазер, блок питания лазера, пластинка со щелью, штативы с рег. винтами.

Практическая часть

Задание 1. Определение длины световой волны.

1. Устанавливаем элементы установки согласно рисунка 1.

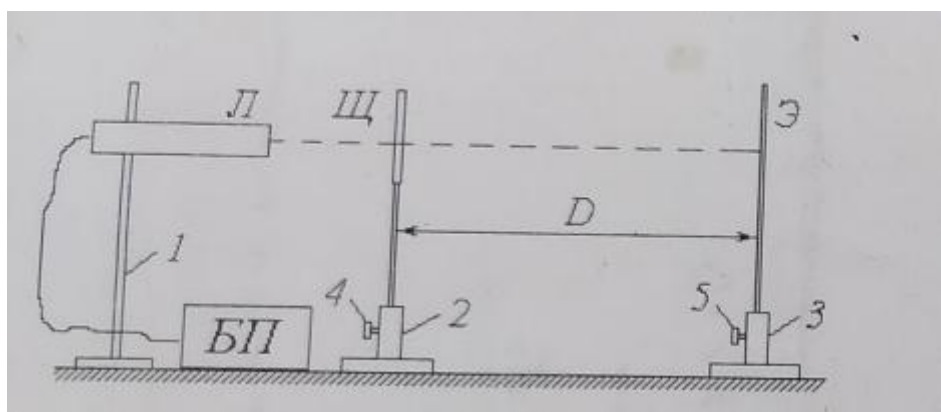


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1, 2, 3 – штативы; 4,5 – регулировочные винты; Л – лазер; БП – блок питания лазера; Щ – пластинка со щелью; Э – экран.

2. Устанавливаем щель на расстоянии порядка 1 метра от экрана.

3. Установим ширину щели, заданную преподавателем ($b = 0,1\text{мм}$).

4. Измеряем с помощью линейки расстояние от щели до экрана (D), а затем расстояние от середины максимума нулевого порядка (наиболее яркого) до центров максимумов 1-го, 2-го, 3-го порядков справа (X_1, X_2, X_3). Измерения проводим три раза. Результаты измерений заносим в таблицу 1.

Таблица 1

| m | $X_1, \text{мм}$ | $X_2, \text{мм}$ | $X_3, \text{мм}$ | $D, \text{мм}$ | $b, \text{мм}$ | $\lambda, \text{нм}$ |
|---------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|
| 1 | 10 | 15 | 23 | 1030 | 0.1 | 582.5 |
| 2 | 8 | 14 | 21 | 1035 | 0.11 | 637.7 |
| 3 | 9 | 16 | 22 | 1033 | 0.09 | 547.6 |
| средние | 9 | 15 | 22 | 1033 | 0.1 | 589.3 |

5. Определяем средние значения величин, рассчитываем длину волны света:

$$\bar{X}_1 = \frac{10+8+9}{3} = 9\text{мм}; \bar{X}_2 = \frac{15+14+16}{3} = 15\text{мм}; \bar{X}_3 = \frac{23+21+22}{3} = 22\text{мм};$$

$$\bar{D} = \frac{1030+1035+1033}{3} = 1033\text{мм}; \bar{b} = \frac{0.1+0.11+0.09}{3} = 0.1\text{мм};$$

длину световой волны λ_k определяем по формуле

$$\lambda = \frac{2 \cdot X_k \cdot b}{(2m+1) \cdot D} \quad (k = 1, 2, 3), \text{ тогда: } \lambda_1 = \frac{2 \cdot 9 \cdot 0.1}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 1030} = 582.5\text{нм};$$

$$\lambda_2 = \frac{2 \cdot 15 \cdot 0.11}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot 1035} = 637.7\text{нм};$$

$$\lambda_3 = \frac{2 \cdot 22 \cdot 0.09}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot 1033} = 547.6\text{нм} \text{ и } \bar{\lambda} = \frac{582.5 + 637.7 + 547.6}{3} = 589.3\text{нм}.$$

Результаты вычислений заносим в таблицу 1.

6. Для каждой из величин вычисляем погрешности прямых измерений:

$$\Delta X_{11} = 9 - 10 = -1\text{мм}; \Delta X_{12} = 9 - 8 = 1\text{мм}; \Delta X_{13} = 9 - 10 = 0\text{мм};$$

$$\Delta X_{21} = 15 - 15 = 0\text{мм}; \Delta X_{22} = 15 - 14 = 1\text{мм}; \Delta X_{23} = 15 - 16 = -1\text{мм};$$

$$\Delta X_{31} = 22 - 23 = -1\text{мм}; \Delta X_{32} = 22 - 21 = 1\text{мм}; \Delta X_{33} = 22 - 22 = 0\text{мм};$$

$$\Delta D_1 = 1033 - 1030 = 3\text{мм}; \Delta D_2 = 1033 - 1035 = -2\text{мм};$$

$$\Delta D_3 = 1033 - 1033 = 0\text{мм}; \Delta b_1 = 0.1 - 0.1 = 0\text{мм}; \Delta b_2 = 0.1 - 0.11 = -0.01\text{мм};$$

$$\Delta b_3 = 0.1 - 0.09 = 0.01\text{мм}.$$

7. Находим среднеквадратичные погрешности серии измерений:

$$\sigma_{X_1} = \sqrt{\frac{(\Delta X_{11})^2 + (\Delta X_{12})^2 + (\Delta X_{13})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(-1)^2 + (1)^2 + (0)^2}{3(3-1)}} = 0.58\text{мм};$$

$$\sigma_{X_2} = \sqrt{\frac{(0)^2 + (1)^2 + (-1)^2}{3(3-1)}} = 0.58\text{мм};$$

$$\sigma_{X_3} = \sqrt{\frac{(-1)^2 + (1)^2 + (0)^2}{3(3-1)}} = 0.58\text{мм};$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{(\Delta D_1)^2 + (\Delta D_2)^2 + (\Delta D_3)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(3)^2 + (2)^2 + (0)^2}{3(3-1)}} = 1.47\text{мм};$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{(\Delta b_1)^2 + (\Delta b_2)^2 + (\Delta b_3)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(0)^2 + (-0.01)^2 + (0.01)^2}{3(3-1)}} = 0.06\text{мм}.$$

8. Используя значение коэффициента Стьюдента $t_\alpha(3) = 4.30$, находим случайные погрешности прямых измерений:

$$\Delta \bar{X}_{сл} = t_\alpha(n) \cdot \sigma_X = 4.30 \cdot 0.58 = 2.49\text{мм};$$

$$\Delta \bar{D}_{сл} = t_\alpha(n) \cdot \sigma_D = 4.30 \cdot 1.47 = 6.32\text{мм};$$

$$\Delta \bar{b}_{cl} = t_{\alpha}(n) \cdot \sigma_b = 4.30 \cdot 0.0058 = 0.025 \text{ мм.}$$

9. Оцениваем погрешность средств измерений. Размеры X и D оценивались миллиметровой линейкой, а b микрометрическим винтом поэтому $\Delta \bar{X}_{приб} = \Delta \bar{D}_{приб} = \pm 0.5 \text{ мм}$; а $\Delta \bar{b}_{приб} = \pm 0.001 \text{ мм}$, тогда

$$\Delta \bar{X}_{суст} = \Delta \bar{D}_{суст} = \frac{t_{\alpha}}{3} \cdot \Delta \bar{X}_{приб} = \frac{t_{\alpha}}{3} \cdot \Delta \bar{D}_{приб} = \frac{1.96}{3} \cdot 0.5 \text{ мм} = 0.327 \text{ мм},$$

$$\text{а } \Delta \bar{b}_{суст} = \frac{t_{\alpha}}{3} \cdot \Delta \bar{b}_{приб} = \frac{1.96}{3} \cdot 0.001 \text{ мм} = 0.00065 \text{ мм.}$$

10. Вычисляем границы доверительных интервалов:

$$\Delta \bar{X} = \Delta \bar{D} = \sqrt{(\Delta \bar{X}_{cl})^2 + (\Delta \bar{X}_{суст})^2} = \sqrt{(\Delta \bar{D}_{cl})^2 + (\Delta \bar{D}_{суст})^2} = \sqrt{(2.49)^2 + (0.327)^2} = 2.51 \text{ мм};$$

$$\Delta \bar{b} = \sqrt{(\Delta \bar{b}_{cl})^2 + (\Delta \bar{b}_{суст})^2} = \sqrt{(0.025)^2 + (0.00065)^2} = 0.025 \text{ мм.}$$

11. Рассчитываем относительные погрешности прямых измерений

$\varepsilon_X, \varepsilon_D$, и ε_b :

$$\varepsilon_{X_1} = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}_1} = 27.8\%; \varepsilon_{X_2} = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}_2} = 16.7\%; \varepsilon_{X_3} = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}_3} = 11.4\%;$$

$$\varepsilon_D = \frac{\Delta \bar{D}}{\bar{D}} = 0.24\%; \text{ и } \varepsilon_b = \frac{\Delta \bar{b}}{\bar{b}} = 0.25\%.$$

12. Окончательный результат прямых измерений при надёжности

$\alpha = 0.95$ записываем в виде:

$$X_1 = \bar{X}_1 \pm \Delta \bar{X} = (9 \pm 2.51) \text{ мм}; X_2 = (15 \pm 2.51) \text{ мм}; X_3 = (22 \pm 2.51) \text{ мм};$$

$$D = (1033 \pm 2.51) \text{ мм}; b = (0.1 \pm 0.025) \text{ мм.}$$

13. Погрешности косвенных измерений $\Delta \lambda$ рассчитаем на основании результатов расчёта погрешностей прямых измерений по формуле:

$$\Delta \lambda_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial X_1}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{X})^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial D_1}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{D})^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial b_1}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{b})^2};$$

$$\Delta \lambda_2 = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial X_2}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{X})^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial D_2}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{D})^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial b_2}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{b})^2};$$

$$\Delta \lambda_3 = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial X_3}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{X})^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial D_3}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{D})^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial b_3}\right)^2 \cdot (\Delta \bar{b})^2},$$

где $\lambda = \frac{2 \cdot X \cdot b}{(2m+1) \cdot D}$, а $\frac{\partial \lambda}{\partial X}, \frac{\partial \lambda}{\partial D}, \frac{\partial \lambda}{\partial b}$ – частные производные. Находим

частные производные:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial X} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{2 \cdot \bar{X} \cdot \bar{b}}{(2m+1) \cdot \bar{D}} \right) = \frac{2 \cdot \bar{b}}{(2m+1) \cdot \bar{D}}; \quad \frac{\partial \lambda}{\partial D} = \frac{\partial}{\partial D} \left(\frac{2 \cdot \bar{X} \cdot \bar{b}}{(2m+1) \cdot \bar{D}} \right) = -\frac{2 \cdot \bar{X} \cdot \bar{b}}{(2m+1) \cdot \bar{D}^2};$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial b} = \frac{\partial}{\partial b} \left(\frac{2 \cdot \bar{X} \cdot \bar{b}}{(2m+1) \cdot \bar{D}} \right) = \frac{2 \cdot \bar{X}}{(2m+1) \cdot \bar{D}}.$$

Рассчитываем значения производных и подставляем в формулы для

$\Delta \lambda$:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial X_1} = \frac{2 \cdot \bar{b}}{(2m+1) \cdot \bar{D}} = \frac{2 \cdot 0.1}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 1033} = 0.0000645; \quad \frac{\partial \lambda}{\partial X_2} = \frac{2 \cdot 0.1}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot 1033} = 0.0000387;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial X_3} = \frac{2 \cdot 0.1}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot 1033} = 0.0000276;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial D_1} = \frac{\partial}{\partial D_1} \left(\frac{2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot \bar{D}} \right) = -\frac{2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot \bar{D}^2} = -\frac{2 \cdot 9 \cdot 0.1}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 1033^2} = 0.00000056;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial D_2} = \frac{\partial}{\partial D_2} \left(\frac{2 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot \bar{D}} \right) = -\frac{2 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot \bar{D}^2} = -\frac{2 \cdot 15 \cdot 0.1}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot 1033^2} = 0.00000056;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial D_3} = \frac{\partial}{\partial D_3} \left(\frac{2 \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot \bar{D}} \right) = -\frac{2 \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot \bar{D}^2} = -\frac{2 \cdot 22 \cdot 0.1}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot 1033^2} = 0.00000059;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial b_1} = \frac{\partial}{\partial b_1} \left(\frac{2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot \bar{D}} \right) = \frac{2 \cdot \bar{X}_1}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot \bar{D}} = \frac{2 \cdot 9}{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 1033} = 0.0058;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial b_2} = \frac{\partial}{\partial b_2} \left(\frac{2 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot \bar{D}} \right) = \frac{2 \cdot 15}{(2 \cdot 2 + 1) \cdot 1033} = 0.0058;$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial b_3} = \frac{\partial}{\partial b_3} \left(\frac{2 \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{b}}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot \bar{D}} \right) = \frac{2 \cdot 22}{(2 \cdot 3 + 1) \cdot 1033} = 0.0061;$$

$$\Delta\lambda_1 = \sqrt{\left(6.45 \cdot 10^{-5}\right)^2 \cdot (2.51)^2 + \left(5.6 \cdot 10^{-7}\right)^2 \cdot (2.51)^2 + \left(5.8 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot \left(2.5 \cdot 10^{-2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{2.62 \cdot 10^{-8} + 1.97 \cdot 10^{-12} + 2.1 \cdot 10^{-8}} = 0.000217 \text{ мм};$$

$$\Delta\lambda_2 = \sqrt{\left(3.87 \cdot 10^{-5}\right)^2 \cdot (2.51)^2 + \left(5.6 \cdot 10^{-7}\right)^2 \cdot (2.51)^2 + \left(5.8 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot \left(2.5 \cdot 10^{-2}\right)^2}$$

$$= 1.7 \cdot 10^{-4} \text{ мм};$$

$$\Delta\lambda_3 = \sqrt{\left(2.76 \cdot 10^{-5}\right)^2 \cdot (2.51)^2 + \left(5.9 \cdot 10^{-7}\right)^2 \cdot (2.51)^2 + \left(6.1 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot \left(2.5 \cdot 10^{-2}\right)^2}$$

$$= 1.7 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$$

$$\Delta\lambda_{cp} = \frac{2.17 + 1.7 + 1.7}{3} \cdot 10^{-4} = 1.86 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$$

Окончательный результат опр. длины волны:

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda = (589.3 \pm 186) \text{ нм}.$$

Задание 2. Определение ширины щели.

1. Устанавливаем произвольно ширину щели.
2. Измеряем с помощью линейки расстояние от щели до экрана (D), а затем расстояние от середины максимума нулевого порядка (наиболее яркого) до центров максимумов 1-го, 2-го, 3-го порядков справа (X_1, X_2, X_3). Измерения проводим три раза. Результаты измерений заносим в таблицу 2.

Таблица 2

| m | $X_1, \text{мм}$ | $X_2, \text{мм}$ | $X_3, \text{мм}$ | $D, \text{мм}$ | $\lambda, \text{нм}$ | $b, \text{мм}$ |
|---------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------------|----------------|
| 1 | 10 | 15 | 21 | 1030 | 589.3 | 0.091 |
| 2 | 9 | 14 | 19 | 1035 | 589.3 | 0.169 |
| 3 | 11 | 16 | 20 | 1033 | 589.3 | 0.194 |
| средние | 10 | 15 | 20 | 1033 | 589.3 | 0.151 |

8. Вычисляем ширину щели по формуле:

$$b = \frac{(2k+1) \cdot D \cdot \lambda}{2 \cdot X_k}, \text{ где } k=1, 2, 3:$$

$$b_1 = \frac{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 1030 \cdot 0.0005893}{2 \cdot 10} = 0.091 \text{ мм};$$

$$b_2 = \frac{(2 \cdot 2 + 1) \cdot 1035 \cdot 0.0005893}{2 \cdot 9} = 0.169 \text{ мм};$$

$$b_3 = \frac{(2 \cdot 3 + 1) \cdot 1033 \cdot 0.0005893}{2 \cdot 11} = 0.194 \text{ мм};$$

$$b_{cp} = \frac{0.091 + 0.169 + 0.194}{3} = 0.151 \text{ мм}.$$

8. Выводы.

В ходе выполнения работы мы изучили явление дифракции света и определили длину волны излучения источника света $\lambda = (589.3 \pm 186) \text{ нм}$.

Определили ширину щели $b = 0.151 \text{ мм}$.