

1. Цель работы

Ознакомление с дифракцией световых волн на дифракционной решетке, определение длины волны.

1.1 Теоретическая часть

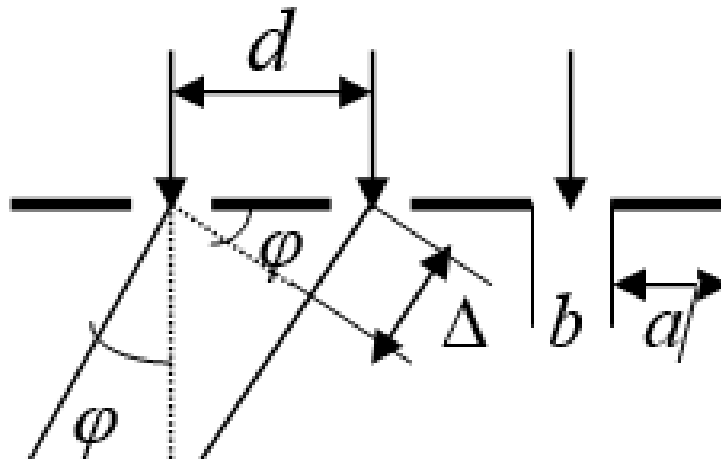


Рисунок 1 - Дифракционная решетка

Дифракционная решетка - периодическая структура, состоящая из большого числа одинаковых параллельных щелей, равноудаленных друг от друга (рис.1). Расстояние d называется постоянной дифракционной решетки $d=a+b$, b – ширина щели, a – ширина перегородки.

Направим на решетку монохроматический пучок параллельных лучей, падающих перпендикулярно решетке. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля, каждую щель можно рассматривать как источник вторичных волн. Для произвольного направления, характеризующегося углом φ , разность хода двух соседних лучей (рис.1):

$$\Delta = d \sin \varphi \quad (1)$$

Поскольку все щели находятся друг от друга на одинаковом расстоянии, то разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей, будут одинаковы для

всей дифракционной решетки. *Максимумы наблюдаются в тех направлениях, для которых разность хода равна целому числу длин волн, т.е.*

$$\Delta = d \sin \varphi = n\lambda, n \in Z \quad (2)$$

Используя формулу (2), можно определить длину волны монохроматического излучения, предварительно определив углы φ , для максимумов соответствующих порядков:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{n} \quad (3)$$

1.2 Экспериментальная часть

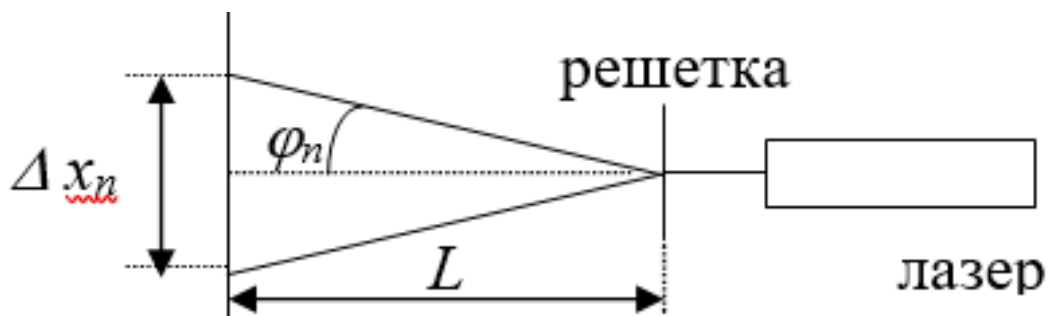


Рисунок 2 - Экспериментальная установка. L – расстояние от решетки до экрана, Δx_n – расстояние между максимума одного порядка, φ_n – направление на максимум n – го порядка.

Установка собирается на оптической скамье. Схема установки представлена на рис. 2.

1.3 Методика проведения эксперимента

1. Включение лазера

2. Установка экрана и дифракционной решетки с постоянной $d = \frac{1}{100}$ ($d = 10^{-5}$) строго перпендикулярно оптической оси лазера
3. Измерение расстояния L
4. Не изменяя расстояние L измерить Δx_n – расстояние между соответствующими дифракционными максимума, начиная с первого порядка. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Основные параметры

$L, м$	n	Δx_n	$tg \varphi_n$	φ_n	$\sin \varphi_n$	$\lambda, м$	$\Delta \lambda, м$
	1						
	2						
	3						
	Среднее значение						

1.4 Обработка результатов измерений

1. По результатам измерений L и Δx_n определить соответствующие углы φ_n

$$\varphi_n = \arctan \frac{\Delta x_n}{2L} \quad (3)$$

2. По формуле 2 определить длину волны для каждого из углов. Результаты занести в таблицу 1.
3. Рассчитать средние значения и определить погрешность измерений.

2. Расчеты

2.1 Входные данные

Расстояние между дифракционной решеткой и экраном $L = 200 \text{ мм} = 200 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Постоянная дифракционной решетки $d = \frac{1 \text{ мм}}{100 \text{ шт}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{100 \text{ шт}} =$

10^{-5} .

Экспериментальным путем выявлено, что расстояние между первыми дифракционными максимумами $\Delta x_1 = 27 \cdot 10^{-3}$ м (при $n = 1$), а между вторыми $\Delta x_2 = 57 \cdot 10^{-3}$ м (при $n = 2$).

Используя среду разработки PyCharm и язык программирования Python найду остальные параметры для расчетов длины волны и определения погрешности измерения.

2.2 Расчет дополнительных параметров

Расчет представлен на рисунке ниже.

```
"F:\2 семестр Магистратура\Технологии обработки и контроля оптики\
Connected to pydev debugger (build 223.8836.43)
2023-04-16 20:41:44.847 | INFO      | __main__:rascheti:14 -
Входные параметры:
L: 0.2
d: 1e-05
delta_x_1: 0.027
delta_x_2: 0.057
2023-04-16 20:41:44.847 | INFO      | __main__:rascheti:23 -
Расчет углов:
Угол f_1: 0.06739776371823956 радиан
Угол f_2: 0.14154703711758268 радиан
2023-04-16 20:41:44.848 | INFO      | __main__:rascheti:32 -
Тангенсы и синусы углов:

Тангес угла между 1-м максимумом: 0.06749999999999999 радиан
Тангес угла между 2-м максимумом: 0.1425 радиан

Синус угла между 1-м максимумом: 0.06734675004793604 радиан
Синус угла между 2-м максимумом: 0.1410748479478474 радиан

2023-04-16 20:41:44.848 | INFO      | __main__:rascheti:44 -
Измерение длины волны:
Длина волны при измерении по 1-м максимумам: 6.73468e-07
Длина волны при измерении по 2-м максимумам: 7.05374e-07
2023-04-16 20:41:44.848 | INFO      | __main__:rascheti:50 -
Срднее значение длины волны: 6.89421e-07
2023-04-16 20:41:44.848 | INFO      | __main__:rascheti:56 -
Отклонение значений от среднего:
Для первого измерения: 1.59534e-08
Для второго значения: 1.59534e-08
Средняя абсолютная ошибка: 1.59534e-08

Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3 - расчет параметров

Рассчитанные параметры представлены в таблице ниже.

Таблица 2 - рассчитанные параметры

$L, м$	n	Δx_n	$tg \varphi_n$	φ_n	$\sin \varphi_n$	$\lambda, м$	$\Delta \lambda, м$
0.2	1	0.027	0.068	0.068	0.067	$673.468 \cdot 10^{-9}$	$15.9534 \cdot 10^{-9}$
	2	0.057	0.143	0.142	0.141	$705.374 \cdot 10^{-9}$	$15.9534 \cdot 10^{-9}$
	Среднее значение					$689.421 \cdot 10^{-9}$	$15.9534 \cdot 10^{-9}$

По расчетным данным длина волны излучения составляет:

(689.4 ± 15.1) нм

Относительная ошибка при этом составляет:

$$\beta = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \cdot 100\% = \frac{15.1}{689.4} \cdot 100\% = 2.19\%$$

3. Вывод

В данной работе произведено ознакомление с принципом работы дифракционной пластинки. С использованием дифракционных эффектов и известных математических законов найдена длина волны излучения используемого в работе лазера, которая составляет (689.4 ± 15.1) нм, при этом относительная ошибка измерений 2.19%.

Для расчетов использовались следующие информационные продукты: среда разработки Pycharm, язык программирования Python, математический фреймворк для python – Numpy, в качестве визуализации информации, фреймворк для логгирования – Loguru. Код программы для расчетов представлен в приложении 1

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

```
import numpy
from loguru import logger

def rascheti():
    # ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
    n_1 = 1
    n_2 = 2
    L = 200 * (10 ** (-3)) # м
    d = (10 ** (-3)) / 100 # м/шт
    delta_x_1 = 27 * (10 ** (-3)) # м
    delta_x_2 = 57 * (10 ** (-3)) # м

    logger.info(f"\nВходные параметры:\n"
               f"L: {L}\n"
               f"d: {d}\n"
               f"delta_x_1: {delta_x_1}\n"
               f"delta_x_2: {delta_x_2}")

    # НАХОЖДЕНИЕ УГЛА
    f_1 = numpy.arctan((delta_x_1) / (2 * L)) # радианы
    f_2 = numpy.arctan((delta_x_2) / (2 * L)) # радианы
    logger.info(f"\nРасчет углов:\n"
               f"Угол f_1: {f_1} радиан\n"
               f"Угол f_2: {f_2} радиан")

    # ТАНГЕНСЫ И СИНОСУСЫ УГЛОВ
    f_1_tan = numpy.tan(f_1)
```

```

f_2_tan = numpy.tan(f_2)
f_1_sin = numpy.sin(f_1)
f_2_sin = numpy.sin(f_2)
logger.info(f"\nТангенсы и синусы углов:\n"
            f"\n"
            f'Тангес угла между 1-м максимумом: {f_1_tan} радиан\n'
            f'Тангес угла между 2-м максимумом: {f_2_tan} радиан\n'
            f"\n"
            f'Синус угла между 1-м максимумом: {f_1_sin} радиан\n'
            f'Синус угла между 2-м максимумом: {f_2_sin} радиан\n")

# РАСЧЕТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
lamda_1 = numpy.divide(numpy.dot(d, f_1_sin), n_1) # divide - деление, dot -
скалярное произведение
lamda_2 = numpy.divide(numpy.dot(d, f_2_sin), n_2)

logger.info(f"\nИзмерение длины волны:\n"
            f'Длина волны при измерении по 1-м максимумам:
{numpy.format_float_scientific(lamda_1, precision=5)}\n'
            f'Длина волны при измерении по 2-м максимумам:
{numpy.format_float_scientific(lamda_2, precision=5)}")

# РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
sred_lamda = numpy.mean([lamda_1, lamda_2])
logger.info(f"\nСрднее значение длины волны:
{numpy.format_float_scientific(sred_lamda, precision=5)}")

# РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ АБСОЛЮТНОЙ ОШИБКИ
otklon_lamda_1 = numpy.absolute(sred_lamda - lamda_1)
otklon_lamda_2 = numpy.absolute(sred_lamda - lamda_2)

```

```
sred_otklon = numpy.mean([otklon_lamda_1, otklon_lamda_2])
logger.info(f"\nОтклонение значений от среднего: \n"
            f'Для первого измерения:
{numpy.format_float_scientific(otklon_lamda_1, precision=5)}\n'
            f'Для второго значения:
{numpy.format_float_scientific(otklon_lamda_2, precision=5)}\n'
            f'Средняя абсолютная ошибка:
{numpy.format_float_scientific(sred_otklon, precision=5)}")

if __name__ == '__main__':
    rascheti()
```