

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра общей и технической физики

Отчёт по лабораторной работе №4

По дисциплине

Физика

(наименование учебной дисциплины согласно учебному плану)

Тема:

**Измерение длины световой волны
с помощью прозрачной дифракционной решётки**

Выполнил: ст. гр.

НД-22-2
(шифр группы)

(подпись)

/Хворых И. А./
(Ф.И.О.)

Дата

:

Проверил:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Санкт-Петербург
2023 г.

Цель работы: измерение длины световой волны с помощью прозрачной дифракционной решётки.

Явление, изучаемое в работе: дифракция света.

Краткие теоретические сведения:

Интерференция света – это явление сложения световых колебаний с последующим формированием интерференционной картины (чередование минимумов и максимумов интенсивности).

Когерентными называют две электромагнитные волны одинаковой частоты, если разность их фаз не зависит от времени.

Когерентные колебания – это колебания с одинаковой частотой и постоянной во времени разностью фаз.

Длина волны – это расстояние между ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах.

$$[\lambda] = \text{м}$$

Дифракция - явление отклонения света от прямолинейного распространения при прохождении вблизи препятствий.

Дифракционная решётка – это прозрачная пластина с нанесёнными параллельными непрозрачными штрихами равной ширины b (рис. 1). Между штрихами возникают одинаковые прозрачные промежутки – прямоугольные щели шириной a . Величина $d = a + b$ называется постоянной (периодом) решётки.

Дифракционная решётка осуществляет наложение двух процессов: дифракции на каждой отдельной щели и интерференции излучения от всех щелей.

Значительное усиление волн будет происходить только под теми углами φ , для которых световые волны, идущие от всех щелей, усиливают друг друга. Это взаимное усиление будет осуществляться, если оптическая разность хода лучей от соседних щелей ΔL кратна длине световой волны. Из рис.1 видно, что

$$\Delta L = d \sin \phi$$

Выражение носит название **основного соотношения дифракционной решётки** в случае нормального падения света. Оно даёт углы, под которыми наблюдаются максимумы для всех имеющихся в излучении длин волн в каждом порядке k (k - порядок дифракции).

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda$$

Схема хода лучей:

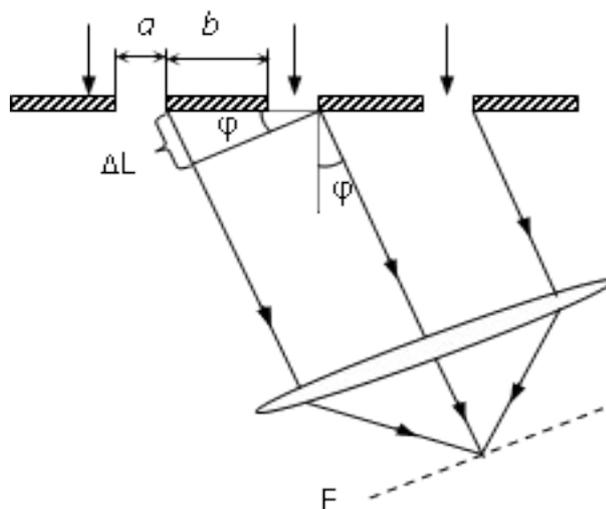


Рисунок 1. Схема хода лучей.

Схема установки:

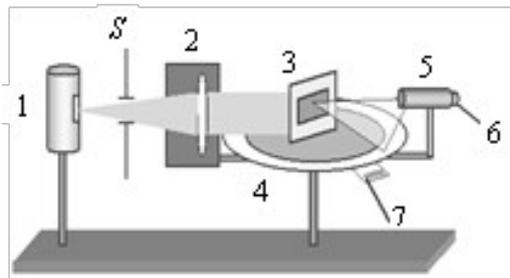


Рисунок 2. Схема установки.

1 – ртутная лампа; 2 – коллиматор; 3 – дифракционная решетка; 4 – гониометр; 5 – зрительная труба; 6 – окуляр; S – входная щель.

Основные расчётные формулы:

1. Период дифракции:

$$d = \frac{1}{N}; [d] = \text{м}$$

$$[N] = \frac{1}{\text{м}}$$

Где N – число штрихов на единицу длины ,

2. Длина волны:

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k}; [\lambda] = \text{м}$$

d – постоянная (период) дифракционной решетки, м; k – порядок дифракции ($k=0; \pm 1; \pm 2; \dots$).

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}$$

3. Удвоенный угол дифракции:

$$2\varphi = |\varphi_{-k} - \varphi_{+k}|$$

4. Угол дифракции:

$$\varphi = \frac{2\varphi}{2}$$

Погрешности прямых измерений:

$$\Delta(\varphi) = 0^{\circ}1'$$

$$\Delta d = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Погрешности косвенных измерений:

1. Относительная погрешность косвенных измерений длины волны

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\lambda}{\bar{\lambda}} = \left| \frac{d}{\bar{\lambda}} \right| + \left| \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha} - 1} \right|$$

2. Абсолютная погрешность косвенных измерений длины волны

$$\Delta\lambda = \bar{\lambda} \mathcal{E}$$

Ход выполнения работы:

Таблица 1

Цвет спектральной линии	К (порядок)	Номер измерения	φ_k	φ_k	2φ	$\Delta(2\varphi)$	φ	$\sin\varphi$	$\lambda \cdot 10^{-4}$
			град.	град.	град.	град.	град.		мм
фиолетовый	1	1	178°44'	176°15'	2°29'	0°2'	1°14'30''	0,0217	4,34
		2	178°40'	176°16'	2°24'	0°2'	1°12'	0,0209	4,18
		3	178°44'	176°18'	2°26'	0°2'	1°13'	0,0212	4,24
	$\lambda_{cp} = 4,253$								
	2	1	180°01'	174°58'	5°03'	0°2'	2°31'30''	0,0440	4,40
		2	180°02'	174°56'	5°06'	0°2'	2°33'	0,0446	4,46
		3	180°01'	174°55'	5°07'	0°2'	2°33'30''	0,0445	4,45
	$\lambda_{cp} = 4,44$								
	3	1	181°14'	173°40'	7°34'	0°2'	3°47'	0,0659	4,39
		2	181°18'	173°41'	7°37'	0°2'	3°48'30''	0,0663	4,42
		3	181°16'	173°40'	7°36'	0°2'	3°48'	0,0662	4,41
	$\lambda_{cp} = 4,41$								

Таблица 2

Цвет спектральной линии	К (порядок)	Номер измерения	φ_k	φ_k	2φ	$\Delta(2\varphi)$	φ	$\sin\varphi$	$\lambda \cdot 10^{-4}$
			град.	град.	град.	град.	град.		мм
зелёный	1	1	179°02'	175°56'	3°06'	0°2'	1°33'	0,0270	5,40
		2	179°04'	175°58'	3°06'	0°2'	1°33'	0,0270	5,40
		3	179°02'	175°55'	3°07'	0°2'	1°33'30''	0,0271	5,42
	$\lambda_{cp} = 5,41$								
	2	1	180°37'	174°18'	6°19'	0°2'	3°09'30''	0,0551	5,51
		2	180°35'	174°18'	6°17'	0°2'	3°08'30''	0,0548	5,48
		3	180°40'	174°15'	6°25'	0°2'	3°12'30''	0,0559	5,59
	$\lambda_{cp} = 5,53$								
	3	1	182°07'	172°48'	9°19'	0°2'	4°39'30''	0,0813	5,42
		2	182°06'	172°50'	9°16'	0°2'	4°38'	0,0808	5,39
		3	182°05'	172°47'	9°18'	0°2'	4°39'	0,0811	5,41
	$\lambda_{cp} = 5,40$								

Таблица 3

Цвет спектральной линии	К (порядок)	Номер измерения	φ_k	φ_k	2φ	$\Delta(2\varphi)$	φ	$\sin\varphi$	$\lambda \cdot 10^{-4}$
			град.	град.	град.	град.	град.		мм
жёлтый	1	1	179°10'	175°50'	3°20'	0°2'	1°43'	0,03	6
		2	179°11'	175°51'	3°20'	0°2'	1°40'	0,029	5,8
		3	179°10'	175°49'	3°23'	0°2'	1°41'30''	0,0295	5,9
	$\lambda_{cp} = 5,9$								
	2	1	180°45'	174°10'	6°35'	0°2'	3°18'	0,0575	5,75
		2	180°48'	174°08'	6°40'	0°2'	3°20'	0,0581	5,81
		3	180°47'	174°07'	6°40'	0°2'	3°20'	0,0581	5,81
	$\lambda_{cp} = 5,79$								
	3	1	182°22'	172°31'	9°51'	0°2'	4°55'30''	0,0859	5,73
		2	182°24'	172°30'	9°54'	0°2'	4°57'	0,0865	5,77
		3	182°25'	172°28'	9°57'	0°2'	4°58'30''	0,0868	5,79
	$\lambda_{cp} = 5,76$								

Примеры вычислений:

1. Период дифракции:

$$d = \frac{1}{N} = \frac{0,001}{50} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$$

2. Длина волны:

Пример вычисления для таблицы №1. Опыт 1.

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k} = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot \sin(1^\circ 14' 30'')}{1} = 4,34 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

Пример вычисления для таблицы №1. Опыт 1.

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3} = \frac{(4,34 + 4,18 + 4,24) \cdot 10^{-4}}{3} = 4,25 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

3. Удвоенный угол дифракции:

Пример вычисления для таблицы №1. Опыт 1.

$$2\varphi = |\varphi_{-k} - \varphi_{+k}| = |178^\circ 44' - 176^\circ 15'| = 2^\circ 29'$$

4. Угол дифракции:

Пример вычисления для таблицы №1. Опыт 1.

$$\varphi = \frac{2\varphi}{2} = \frac{2^\circ 29'}{2} = 1^\circ 14' 30''$$

5. Погрешность косвенных измерений:

$$\bar{\lambda}_\phi = \frac{425,3+444+441}{3} \cdot 10^{-9} = 436,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$\bar{\lambda}_3 = \frac{541+553+540}{3} \cdot 10^{-9} = 544,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$\bar{\lambda}_{жс} = \frac{590+579+576}{3} \cdot 10^{-9} = 581,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$\overline{\sin \varphi} = \frac{1}{27} \sum \sin \varphi = \frac{1,4068}{27} = 0,052$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{\bar{\lambda}} = \left| \frac{10^{-6}}{2 \cdot 10^{-5}} \right| + \left| \sqrt{\frac{1}{0,052^2} - 1} \cdot 0 \cdot 1 \right| = 0,0555$$

$$\Delta \lambda_\phi = 436,8 \cdot 10^{-9} \cdot 0,0555 = 24,2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$\Delta \lambda_3 = 544,6 \cdot 10^{-9} \cdot 0,0555 = 30,2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$\Delta \lambda_{жс} = 581,7 \cdot 10^{-9} \cdot 0,0555 = 32,28 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Окончательный результат:

Фиолетовый цвет спектральной линии:

$$\bar{\lambda}_\phi = (437 \pm 24) \text{ нм}$$

Зелёный цвет спектральной линии:

$$\bar{\lambda}_3 = (545 \pm 30) \text{ нм}$$

Жёлтый цвет спектральной линии:

$$\bar{\lambda}_\phi = (582 \pm 32) \text{ нм}$$

Относительная погрешность измерения длины волны:

Сравнительная оценка экспериментальных значений:

Для фиолетовой световой волны $\lambda_{теор} = 440 \text{ нм}$

$$\frac{|\lambda_{теор} - \lambda_{эксп}|}{\lambda_{теор}} \cdot 100\% = \frac{|440 - 437|}{440} \cdot 100\% = 0,7\%$$

Для зелёной световой волны $\lambda_{теор} = 532 \text{ нм}$

$$\frac{|\lambda_{теор} - \lambda_{эксп}|}{\lambda_{теор}} \cdot 100\% = \frac{|532 - 545|}{532} \cdot 100\% = 2,95\%$$

Для жёлтой световой волны $\lambda_{теор} = 590 \text{ нм}$

$$\frac{|\lambda_{теор} - \lambda_{эксп}|}{\lambda_{теор}} \cdot 100\% = \frac{|590 - 582|}{590} \cdot 100\% = 1,81\%$$

Вывод: в ходе данной лабораторной работы мы определили длину световой волны с помощью дифракционной решётки. Полученные экспериментальным путём длины световых линий довольно близки к теоретическим ($\mathcal{E} < 10\%$), поэтому полученные данные можно считать достоверными.