

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №114

## ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА НА УСТАНОВКЕ С БИПРИЗМОЙ ФРЕНЕЛЯ

*Поляков Даниил, 19.Б23-фз*

**Цель работы:** познакомиться с явлением интерференции на установке с бипризмой Френеля, определить длину волны оптического излучения источника.

### Оборудование

- оптическая скамья;
- натриевая лампа с оптической щелью;
- бипризма Френеля;
- объектив (тонкая собирающая линза);
- окулярный микрометр.

Работа проводилась на установке №4.

### Расчётные формулы

- Расстояние между двумя положениями объектива:

$$d = |x_2 - x_1|$$

$x_1, x_2$  — положения объектива, при которых чётко видно изображение двух мнимых источников света.

- Расстояние между экраном и источником света:

$$L = d \frac{\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}}$$

$d$  — расстояние между двумя положениями объектива;  
 $R_1, R_2$  — расстояние между изображениями мнимых источников при первом и втором положении объектива.

- Расстояние между мнимыми источниками света:

$$2t = \sqrt{R_1 R_2}$$

$R_1, R_2$  — расстояние между изображениями мнимых источников при первом и втором положении объектива.

- Положения максимумов/минимумов интенсивности интерференционной картины:

$$y = \sigma m + y_0$$

$\sigma$  — ширина полосы интерференции;  
 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  — номер максимума;  
 Для минимумов:  
 $m = \pm 0.5, \pm 1.5, \pm 2.5, \dots$ ;  
 $y_0$  — положение главного ( $m = 0$ ) максимума.

- Ширина полосы интерференции:

$$\sigma = \lambda \frac{L}{2t}$$

$\lambda$  — длина волны источника света;  
 $L$  — расстояние между источником света и окуляром;  
 $2t$  — расстояние между мнимыми источниками света.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta_{\bar{x}} = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + (\Delta_{x, \text{сист}})^2}$$

$n$  — количество измерений;  
 $t$  — коэффициент Стьюдента;  
 $\Delta_{x, \text{сист}}$  — систематическая погрешность.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

$$\Delta_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2} = \sqrt{\Delta_{x_1}^2 + \Delta_{x_2}^2}$$

$$\Delta_L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial d} \cdot \Delta_d\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial R_1} \cdot \Delta_{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial R_2} \cdot \Delta_{R_2}\right)^2} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2} (\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2})^2} \sqrt{(\sqrt{R_1 R_2} (R_1 - R_2) \cdot \Delta_d)^2 + (d R_2 \cdot \Delta_{R_1})^2 + (d R_1 \cdot \Delta_{R_2})^2}$$

$$\Delta_{2t} = \sqrt{\left(\frac{\partial 2t}{\partial R_1} \cdot \Delta_{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial 2t}{\partial R_2} \cdot \Delta_{R_2}\right)^2} = \frac{1}{2\sqrt{R_1 R_2}} \sqrt{(R_2 \cdot \Delta_{R_1})^2 + (R_1 \cdot \Delta_{R_2})^2}$$

## Порядок измерений

1. Юстируем бипризму и окуляр так, чтобы была чётко видна интерференционная картина и при этом не происходило её смещения при перемещении окуляра.
2. Выбираем такое положение окуляра  $x_0$ , при котором имеются два положения объектива, дающие чёткое изображение двух источников. Передвигая объектив, получаем чёткое изображение и снимаем положение  $x_1$  объектива с линейки оптической скамьи по одному из краёв рейтера. Используя окулярный микрометр, измеряем расстояние  $R_1$  между изображениями мнимых источников при данном положении объектива. Затем, при таком же положении окуляра и бипризмы, получаем чёткое изображение при другом положении объектива, измеряем это положение  $x_2$  и расстояние  $R_2$  между изображениями мнимых источников. Повторяем измерения  $x_1, R_1, x_2, R_2$  ещё два раза при неизменном положении окуляра.
3. Убираем объектив с оптической скамьи и получаем интерференционную картину в окуляре. Используя окулярный микрометр, измеряем положения  $y$  трёх минимумов слева и трёх минимумов справа от главного максимума.
4. Передвигаем окуляр в новое положение  $x_0$  и проводим аналогичные измерения величин  $x_1, R_1, x_2, R_2, y$ , описанные в пунктах 2–3. Всего проводим измерения для трёх различных положений окуляра и неизменном положении бипризмы.

## Результаты

Примечание: построение графиков и аппроксимация зависимостей выполнены с помощью ПО MATLAB. Погрешности прямых измерений и коэффициентов аппроксимации рассчитаны с доверительной вероятностью  $P = 95\%$ .

Приборную погрешность шкалы оптической скамьи примем равной половине цены деления:  $\Delta_{x, \text{сист}} = 0.05 \text{ см}$ .

Приборную погрешность окулярного микрометра примем равной половине цены деления:  $\Delta_{R, \text{сист}} = \Delta_{y, \text{сист}} = 0.005 \text{ мм}$ .

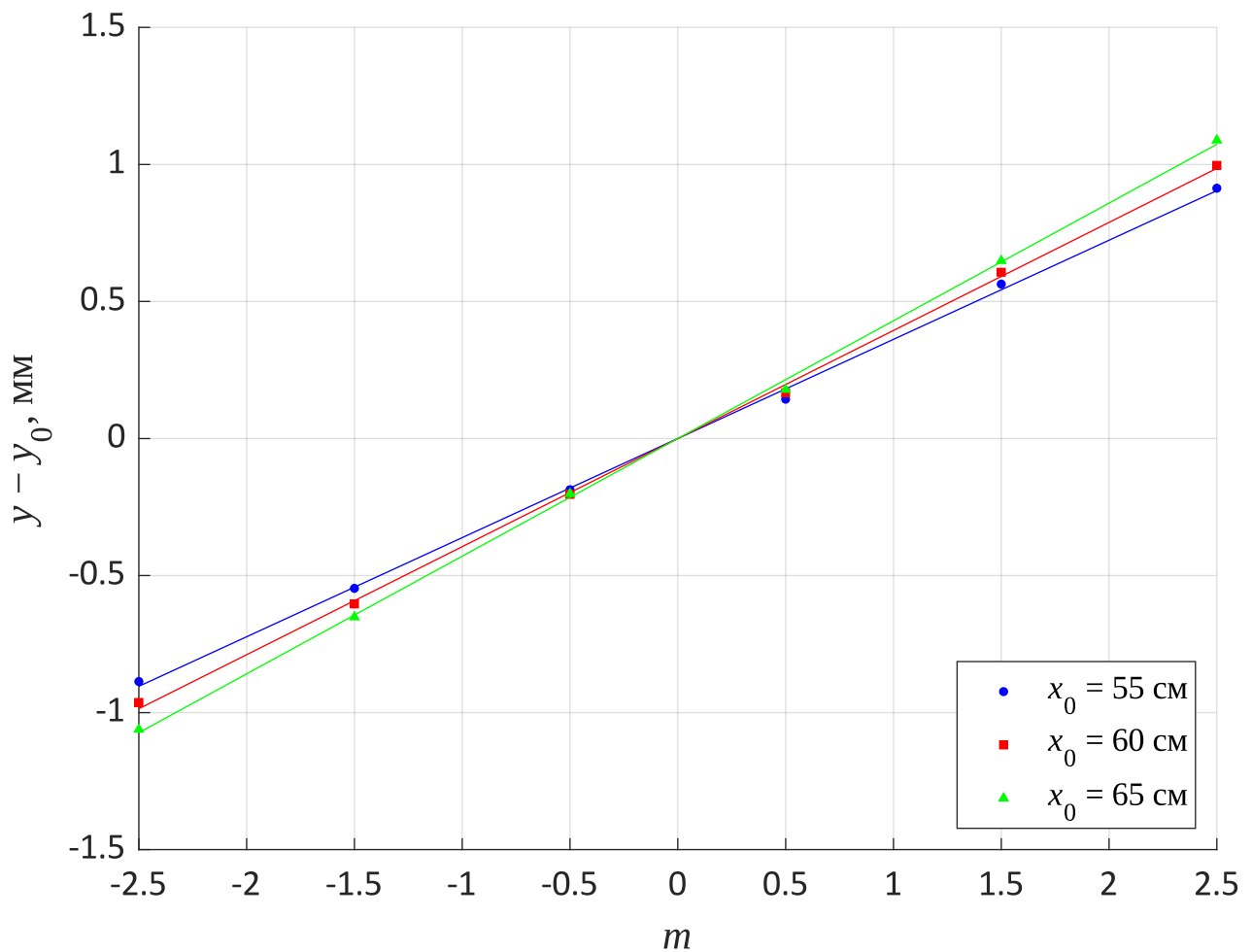
**Таблица 1.** Расстояние между источником света и окуляром и расстояние между мнимыми источниками света при разных положениях окуляра

$x_0$ , см	$x_1$ , см	$\bar{x}_1$ , см	$x_2$ , см	$\bar{x}_2$ , см	$R_1$ , мм	$\bar{R}_1$ , мм	$R_2$ , мм	$\bar{R}_2$ , мм	$d$ , см	$L$ , см	$2t$ , мм
55	26.4	26.4 $\pm 0.2$	41.4	41.4 $\pm 0.2$	1.66	1.63 $\pm 0.07$	0.40	0.43 $\pm 0.07$	14.9 $\pm 0.2$	46 $\pm 6$	0.84 $\pm 0.08$
	26.4		41.4		1.60		0.43				
	26.5		41.3		1.63		0.46				
60	24.9	25.0 $\pm 0.3$	47.8	47.80 $\pm 0.05$	2.18	2.18 $\pm 0.02$	0.37	0.36 $\pm 0.03$	22.8 $\pm 0.3$	54 $\pm 2$	0.89 $\pm 0.04$
	25.0		47.8		2.17		0.35				
	25.1		47.8		2.18		0.37				
65	24.2	24.2 $\pm 0.2$	53.4	53.4 $\pm 0.2$	2.55	2.59 $\pm 0.09$	0.30	0.30 $\pm 0.04$	29.2 $\pm 0.2$	59 $\pm 3$	0.88 $\pm 0.06$
	24.3		53.5		2.62		0.28				
	24.2		53.4		2.60		0.31				

**Таблица 2.** Ширина полосы интерференции при разных положениях окуляра

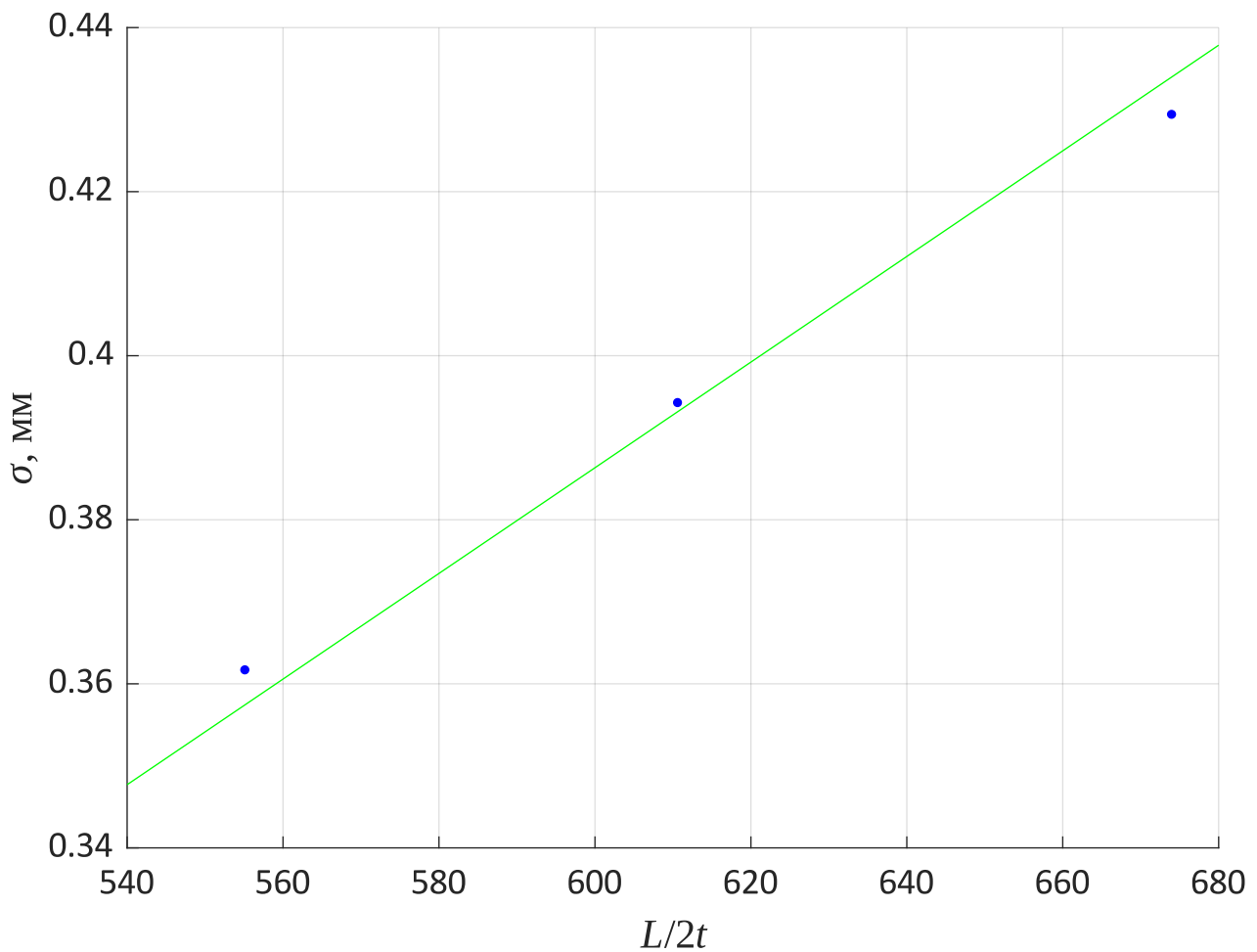
$x_0$ , см	$L$ , см	$2t$ , мм	$m$	$y$ , мм	$\sigma$ , мм
55	46 $\pm 6$	0.84 $\pm 0.08$	-2.5	0.21	0.36 $\pm 0.02$
			-1.5	0.55	
			-0.5	0.91	
			0.5	1.24	
			1.5	1.66	
			2.5	2.01	
60	54 $\pm 2$	0.89 $\pm 0.04$	-2.5	0.18	0.394 $\pm 0.015$
			-1.5	0.54	
			-0.5	0.94	
			0.5	1.31	
			1.5	1.75	
			2.5	2.14	
65	59 $\pm 3$	0.88 $\pm 0.06$	-2.5	0.96	0.429 $\pm 0.015$
			-1.5	1.37	
			-0.5	1.82	
			0.5	2.20	
			1.5	2.67	
			2.5	3.11	

Значения ширины полосы интерференции  $\sigma$  были рассчитаны как коэффициенты пропорциональности линейной аппроксимации полученных зависимостей  $y(m)$  при разных положениях окуляра.



**График 1.** Положения максимумов/минимумов интенсивности интерференционной картины при разных положениях окуляра

При построении графиков положение  $y_0$  главного максимума было принято за 0. Длину волны  $\lambda$  находим как коэффициент пропорциональности зависимости  $\sigma\left(\frac{L}{2t}\right)$ .



**График 2.** Зависимость ширины полосы интерференции от величины  $L/2t$

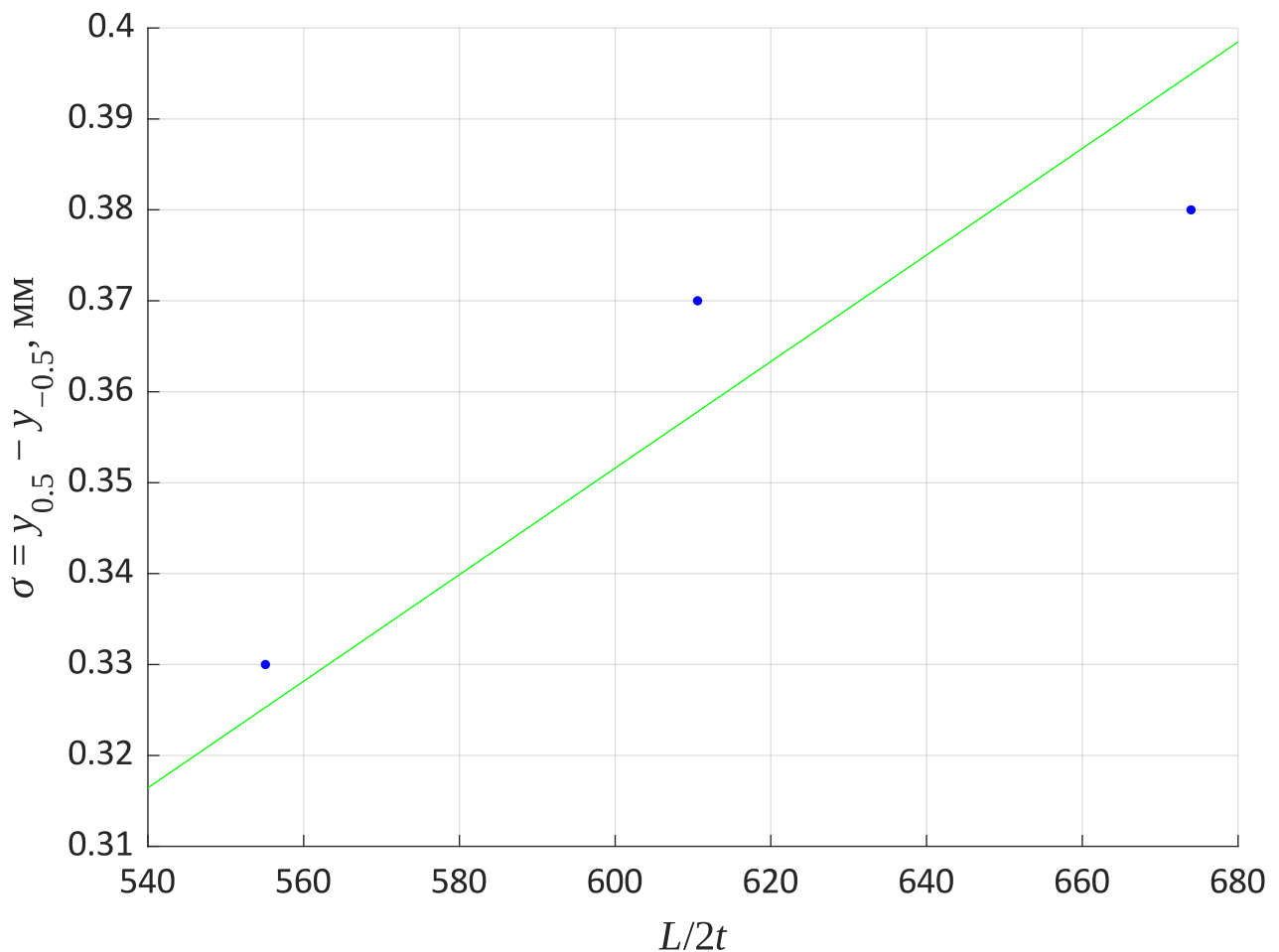
Получаем длину волны источника света:

$$\lambda = 640 \pm 20 \text{ нм}$$

Реальные длины волн, излучаемых натриевой лампой: 589.0 и 589.6 нм. Отклонение экспериментального результата от действительного скорее всего связано с отклонением от параксиальной оптики в ходе работы: расстояние между интерференционными полосами увеличивается при удалении от центра интерференционной картины, что связано с недостаточно большим расстоянием между источником света и окуляром. Можно заметить, что, если вычислить длину волны отдельно для каждой точки, с увеличением этого расстояния длина волны уменьшается, т.е. приближается к действительному значению.

Попробуем таким же способом рассчитать длину волны, приняв за ширину интерференционной картины расстояние между ближайшими к центру минимумами:

$$\sigma = y_{0.5} - y_{-0.5}$$



**График 3.** Зависимость ширины полосы интерференции, вычисленной как расстояние между ближайшими к центру минимумами, от величины  $L/2t$

Получаем длину волны источника света:

$$\lambda = 590 \pm 60 \text{ нм}$$

Полученная таким способом длина волны очень близка к действительной, но погрешность выше, т. к. ширина полосы интерференции в каждом положении окуляра была просто принята равной одному из измерений.

## Выводы

Бипризма Френеля позволяет разделить точечный источник света на два мнимых когерентных источника, что позволяет наблюдать явление интерференции света. В работе с помощью окуляра наблюдалась интерференционная картина, имевшая непостоянную ширину полосы интерференции. Была получена длина волны источника света:

$$\lambda = 640 \pm 20 \text{ нм}$$

Реальные длины волн, излучаемых натриевой лампой: 589.0 и 589.6 нм. Отклонение экспериментального результата от действительного скорее всего связано с отклонением от параксиальной оптики в ходе работы. Если принять за ширину интерференционной картины расстояние между ближайшими к центру минимумами и снова рассчитать длину волны, получаем:

$$\lambda = 590 \pm 60 \text{ нм}$$

Полученное таким способом значение ближе к действительному.