

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра «Физика»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА

Методические указания к лабораторной работе № 304

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2010

### ***Целью лабораторной работы является:***

- визуальное наблюдение на экране картины дифракции плоской световой волны на щели;
- изучение влияния ширины щели на расположение дифракционных максимумов;
- экспериментальное определение углов дифракции, соответствующих максимумам интенсивности света на экране, и сравнение их с теоретическими углами дифракции.

### ***1. Дифракция Фраунгофера на щели***

Светом называют электромагнитные волны, т.е. процесс распространения в вакууме или диэлектрической среде электромагнитных колебаний. Источниками электромагнитных волн являются возбужденные атомы или молекулы. Длины волн видимой области электромагнитного излучения лежат в интервале от 400 до 750 нм.

Геометрическое место точек, до которых к моменту времени  $t$  доходят электромагнитные колебания от источника света, называется фронтом световой волны. Геометрическое место точек, в которых колебания происходят в одинаковой фазе, называется волновой поверхностью.

В вакууме или изотропной однородной среде скорость  $V$  распространения колебаний одинакова для любого направления, поэтому (Рис.1) от точечного источника света  $S$  за время  $t$  колебания дойдут до точек, образующих поверхность сферы радиуса  $R=V \cdot t$ . Фронт волны представляет собой поверхность сферы, поэтому такая волна называется сферической.

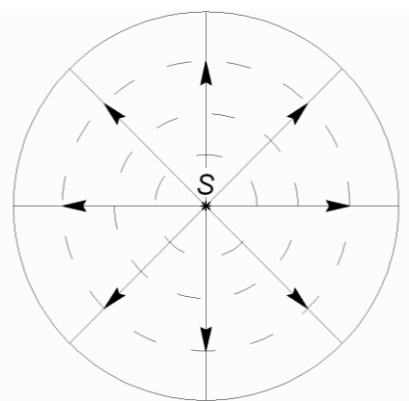


Рис. 1

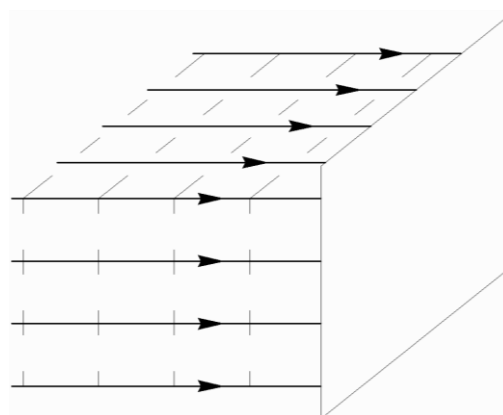


Рис. 2

С увеличением расстояния от точечного источника света кривизна сферического фронта уменьшается. Небольшой участок волнового фронта достаточно большого радиуса  $R$  можно считать плоским фронтом, лучи (направления распространения колебаний) – идущими параллельно друг другу. Такую световую волну называют плоской волной (Рис.2).

Плоскую световую волну (пучок параллельных лучей) можно получить с помощью оптических систем.

Отклонение световых лучей от прямолинейного распространения при прохождении в среде с резко неоднородной пропускающей способностью называется дифракцией света. Не очень строго дифракцией называют огибание волнами препятствий, в результате чего граница тени от предмета становится размытой.

Характерную картину дифракции можно наблюдать при прохождении света через малые отверстия, вблизи краев экрана, непрозрачных препятствий малых размеров и других неоднородностей (Рис.3, рис.4).

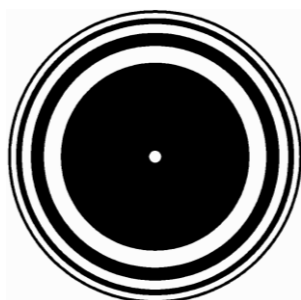


Рис. 3  
Дифракция света  
на непрозрачном диске



Рис. 4  
Дифракционная картина  
от проволоки

Дифракцию, наблюдаемую в параллельных лучах (случай плоской волны), называют дифракцией Фраунгофера. Если падающие на объект лучи непараллельны друг другу (сферическая волна), то говорят о дифракции Френеля.

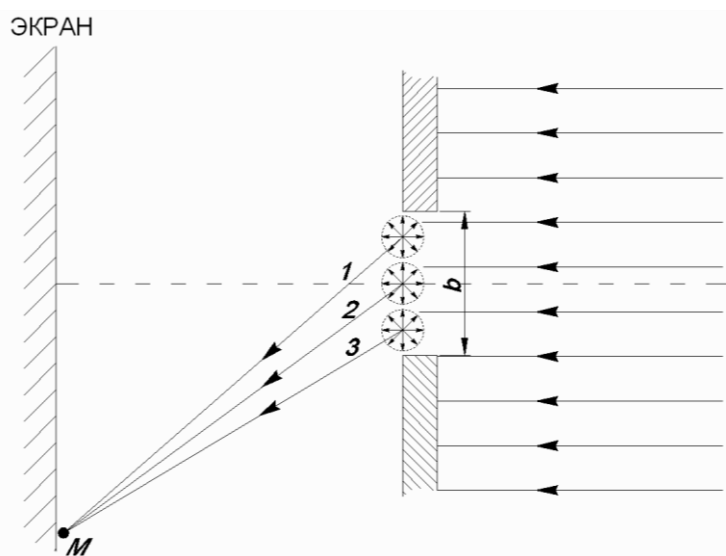


Рис. 5

Строгое решение задачи дифракции очень сложно. Достаточно хорошие результаты для объяснения этого явления в оптических задачах

дает использование принципа Гюйгенса – Френеля. Согласно этому принципу точки фронта волны являются когерентными источниками вторичных сферических волн.

На рис.5 изображен пучок параллельных световых лучей, падающий нормально (перпендикулярно) на щель шириной  $b$  и дающий на экране, помещенном за щелью, дифракционную картину.

Освещенность экрана в точке  $M$  определяется результатом интерференции колебаний от всех вторичных источников – точек участка фронта волны, вырезанного щелью. Точечные источники изображены символом  $\odot$ . На рис.5 показано для примера, что интерферируют колебания, идущие вдоль лучей 1,2 и 3.

Свет наблюдается в тех местах экрана, где вторичные волны при интерференции не гасят друг друга. Интенсивность дифрагированной волны максимальна там, где колебания складываясь, усиливаются, и на экране возникает дифракционный максимум света – светлое пятно. В тех точках экрана, где колебания складываясь, гасят друг друга, наблюдается темнота, т.е. дифракционный минимум.

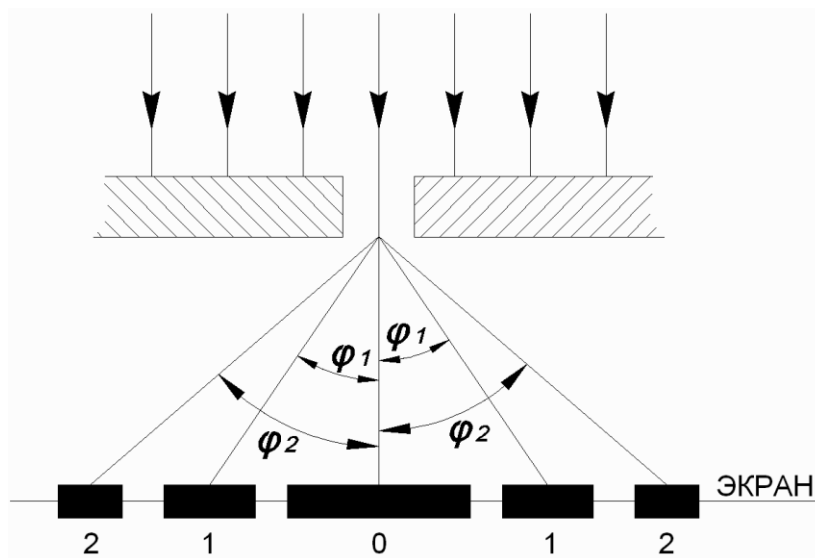


Рис. 6

На экране (Рис.6) наблюдаются несколько максимумов и минимумов освещенности справа и слева от центрального светлого «нулевого» пятна.

Углом дифракции  $\varphi_{max}$  называют угол между направлением падающих лучей и лучом, проведенным от середины щели к точке на экране, где находится середина максимума освещенности.

Зависимость интенсивности света  $I_\varphi$  в разных точках экрана дается формулой (см. [1]):

$$I_\varphi = I_0 \left( \frac{\sin u}{u} \right)^2, \quad (1)$$

где  $I_0$  – интенсивность в центре экрана,

$$u = \frac{b\pi}{\lambda} \sin \varphi, \quad (2)$$

$b$  – ширина щели,  $\lambda$  – длина волны.

Для определения углов дифракции исследуем на экстремум функцию  $I_\varphi$ . Взяв производную по  $u$  и приравняв ее нулю, получаем:

$$\frac{dI_\varphi}{du} = 2I_0 \frac{\sin u}{u} \left( \frac{\cos u}{u} - \frac{\sin u}{u^2} \right) = 0. \quad (3)$$

Выражение (3) распадается на два уравнения:

$$\frac{\sin u}{u} = 0, \quad u = \operatorname{tgu}. \quad (4)$$

Первое из них определяет положения минимумов интенсивности ( $I_\varphi = 0$ ), которые будут иметь место при

$$u = \pm m\pi, \quad \text{где } m = 1, 2, 3 \dots, \quad (5)$$

т.е. при углах дифракции (см.(2)), удовлетворяющих условию:

$$\sin \varphi_{\min} = \pm m \frac{\lambda}{b}, \quad \text{где } m=1, 2, 3 \dots \quad (6)$$

Второе уравнение дает положения максимумов интенсивности при значениях

$$u = 0; 1,43\pi; 2,46\pi; 3,47\pi \dots \quad (7)$$

Для углов  $\varphi$ , учитывая (2) получаем:

$$\begin{aligned} \sin \varphi_{1\max} &= 1,43 \frac{\lambda}{b}, \\ \sin \varphi_{2\max} &= 2,46 \frac{\lambda}{b}, \\ \sin \varphi_{3\max} &= 3,47 \frac{\lambda}{b}, \end{aligned} \quad (8)$$

Для малых углов  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$  (рад), поэтому можно вычислить теоретические значения углов дифракции в радианах по формулам:

$$\begin{aligned} \varphi_{1\max} &= 1,43 \frac{\lambda}{b}, \\ \varphi_{2\max} &= 2,46 \frac{\lambda}{b}, \\ \varphi_{3\max} &= 3,47 \frac{\lambda}{b}. \end{aligned} \quad (9)$$

График зависимости интенсивности света  $I_\varphi$  от  $\sin \varphi$  или угла  $\varphi$ , выраженного в радианах, показан на рис.7.

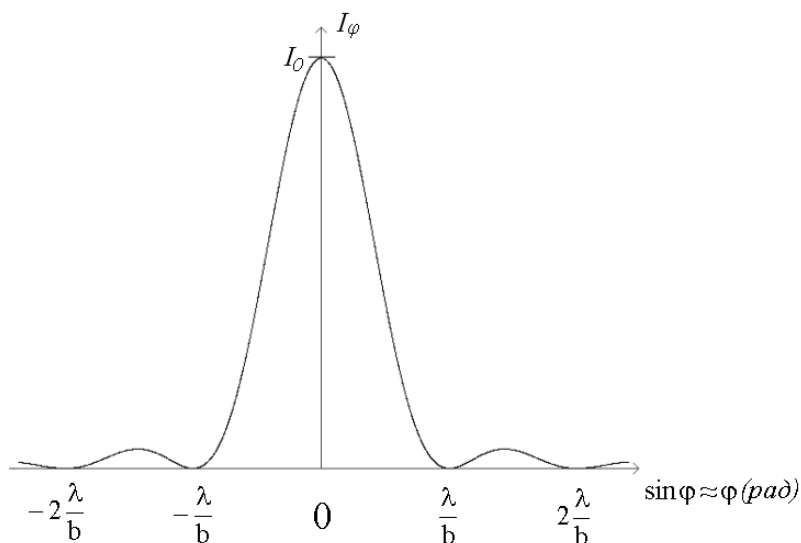


Рис. 7

При  $u=0$  интенсивность света максимальна ( $I_\varphi = I_0$ ) и не зависит от

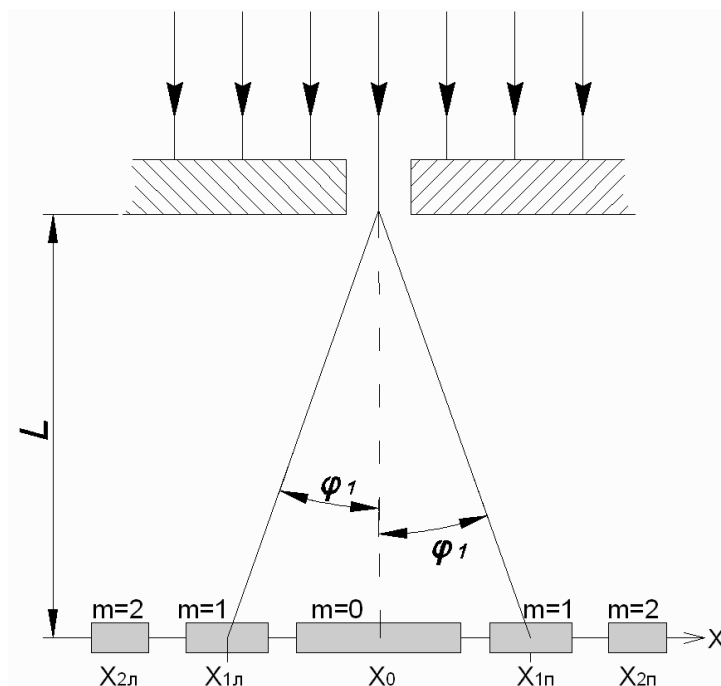


Рис. 8

длины волны. Иными словами, в направлении падающего на щель излучения ( $\varphi=0$ ) всегда расположен максимум. Этот центральный максимум называют максимумом нулевого порядка.

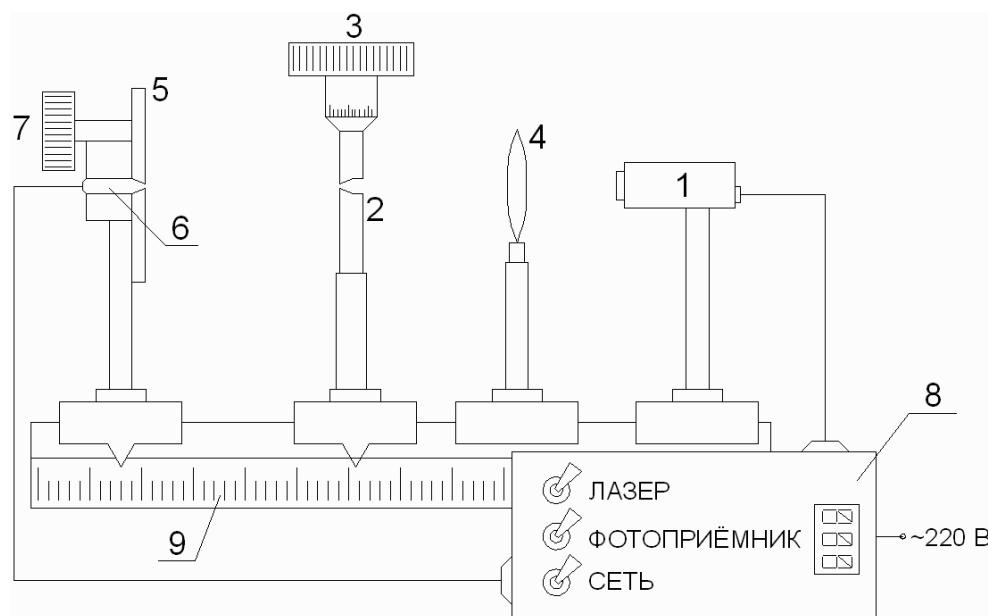
Для нахождения угла дифракции  $\varphi_1$ , под которым виден максимум первого порядка ( $m=1$ ), необходимо по шкале  $x$  на экране (Рис.8) определить положения максимумов первого порядка слева ( $x_{1л}$ ) и справа ( $x_{1п}$ ) (например,  $x_{1л}=10$  мм,  $x_{1п}=11$ ) мм и, измерив  $L$ - расстояние от щели до экрана (например,  $L = 400$  мм), определить:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 \approx \varphi_1 = \frac{|x_{1л}| + |x_{1п}|}{2L} = \frac{10 + 11}{2 \cdot 400} = 0,026 \text{ рад} \quad (10)$$

Аналогичным образом находят углы дифракции для максимумов второго и следующих порядков.

## 2. Описание установки

Схема установки для наблюдения дифракции монохроматической плоской волны на щели представлена на рис.9.



На оптической скамье установлены:

- 1 – полупроводниковый лазер, дающий монохроматическое излучение  $\lambda=632,8$  нм;
- 2 – щель с регулируемой и измеряемой с помощью микрометра 3 шириной; цена деления микрометра 0,01 мм.
- 4 – длиннофокусная линза для концентрации света на щели;
- 5 – экран;
- 6 – фотоприемник, установленный за экраном против миллиметрового отверстия и соединенный с чувствительным гальванометром, находящимся в блоке 8; на верхней панели блока расположены тумблеры включения сетевого напряжения, лазера и фотоприемника

(фотоприемник в данной работе используется только по указанию преподавателя);

7 –рукоятка перемещения экрана; с помощью этой рукоятки центр экрана наводят на середину соответствующего максимума и определяют по шкале его положение; цена деления шкалы на экране – 1мм;

9 – линейка для определения расстояния от щели до экрана.

Таблица

L, мм	b, мм	m	Координаты максимумов		Углы дифракции	
			$x_{лт},$ мм	$x_{пт},$ мм	$\varphi_{эксп},$ (рад)	$\varphi_{теор},$ (рад)
	0,04	1				
		2				
		3				
	0,08	1				
		2				
		3				
	0,12	1				
		2				
		3				
	0,16	1				
		2				
		3				

### 3.Порядок выполнения работы

1. Вставить сетевую вилку блока 8 в розетку. Включить тумблеры «СЕТЬ» и «ЛАЗЕР», убедиться, что возникло лазерное свечение.
2. Проверить и, если необходимо, откорректировать ширину щели таким образом, чтобы на экране возникла четкая и симметричная дифракционная картина.
3. Произвести визуальное наблюдение дифракционной картины. Для этого перед экраном установить лист белой бумаги и, изменяя с помощью микрометра 3 ширину щели в пределах 0 до 0,2 мм, наблюдать изменение дифракционной картины. Обратит внимание на то, как изменяется положение дифракционных максимумов, их яркость и ширина. Записать результаты наблюдения. Убрать лист бумаги.
4. С помощью линейки 9 измерить расстояние  $L$  от щели до экрана, занести значение  $L$  в таблицу.
5. Установить на барабане микрометра ширину щели 0,12 мм, при этом действительная ширина щели будет равна:

$$b = 0,12 \text{ мм} - 0,08 \text{ мм} = 0,04 \text{ мм}$$



**Внимание!** Каждый раз, устанавливая ширину щели, нужно показания микрометра уменьшать на 0,08 мм.

6. По шкале на экране определить  $x_{\text{л}m}$  и  $x_{\text{п}m}$  – координаты максимумов первого ( $m=1$ ), второго ( $m=2$ ) и третьего ( $m=3$ ) порядков, расположенных симметрично слева и справа от центрального максимума нулевого порядка. Результаты занести в таблицу.
7. Установив ширину щели 0,08 мм, провести измерения в соответствии с п.6. Повторить измерения с шириной щели 0,12 мм и 0,16 мм.
8. По формуле (10) вычислить экспериментальные значения углов дифракции  $\varphi_{\text{эксп}}$ . По формуле (9) рассчитать теоретические значения этих углов  $\varphi_{\text{теор}}$ . Результаты вычислений занести в таблицу.
9. Сравнить между собой значения экспериментальных и теоретических углов дифракции. В выводах отразить результаты этого сравнения.

#### ***4.Контрольные вопросы***

1. Какова физическая природа света?
2. В чем заключается явление дифракции света?
3. Дайте определение фронта волны. Волновой поверхности.
4. Что называют дифракцией Фраунгофера? Дифракцией Френеля?
5. Какие волны называются когерентными?
6. Как при помощи принципа Гюйгенса-Френеля можно объяснить явление дифракции?
7. Из формулы (1) получите выражение (3).

#### ***Библиографический список***

1. Савельев И.В. Курс общей физики, кн. 4. – М., 2002.
2. Трофимова Т.Н. Курс физики. – М., 2003.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА**

## **Методические указания**

Авторы: Галанов Евгений Константинович,  
Жилич Людмила Аркадьевна,  
Хохлов Григорий Григорьевич.