

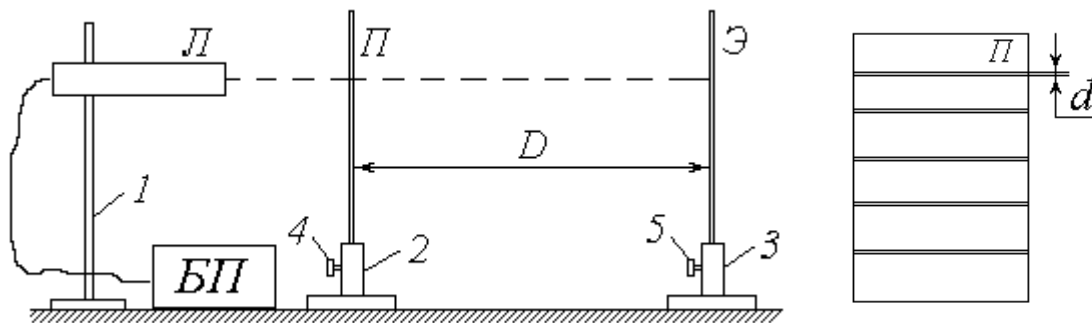
5. О П Т И К А



Работа 5.1 ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА. ОПЫТ ЮНГА

Цель работы: 1) наблюдение интерференционной картины от двух параллельных щелей в монохроматическом свете;
2) определение длины волны лазерного излучения.

Схема экспериментальной установки



1, 2, 3 – штативы; 4,5 – регулировочные винты; Л – газовый лазер;
БП – блок питания лазера; П – пластинка со щелями; Э – экран

Описание установки и методики измерений

Источником монохроматического излучения в данной работе является газовый лазер Л, закрепленный горизонтально в штативе 1; включение лазера осуществляется тумблером на панели блока питания БП. В штативе 2 размещена непрозрачная зачерненная пластинка П, на которую нанесены несколько пар горизонтальных щелей, расположенных на малом расстоянии d друг от друга (фронтальное изображение пластинки со щелями дано на схеме установки справа). Ослабив регулировочный винт 4, можно перемещать пластинку П по вертикали, направляя лазерный луч на различные пары щелей. Интерференционная картина наблюдается на экране Э, закрепленном в штативе 3 и удаленном на расстояние D от пластинки со щелями (на схеме плоскости пластинки П и экрана Э перпендикулярны плоскости чертежа).

Газовый лазер испускает узкий пучок монохроматического (красного) цвета. Как известно, свет представляет собой электромагнитную волну; в случае узкого пучка фронт этой волны можно считать плоским. Уравнение плоской волны имеет вид

$$E(r,t) = E_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{2\pi \cdot r}{\lambda}\right), \quad (1)$$

где $E(r,t)$ – проекция светового вектора (напряженности электрического поля) на плоскость его колебаний в точке, находящейся на расстоянии r от

источника света в момент времени t ; E_m – амплитуда колебаний; ω – циклическая частота; λ – длина волны излучения.

Из выражения (1) следует, что значение E определяется фазой колебаний

$$\varphi = \omega \cdot t - \frac{2\pi \cdot r}{\lambda}. \quad (2)$$

Попадая на пластинку Π , луч лазера проходит через две узкие и близко расположенные друг к другу щели S_1 и S_2 (рис. 32). Каждую из

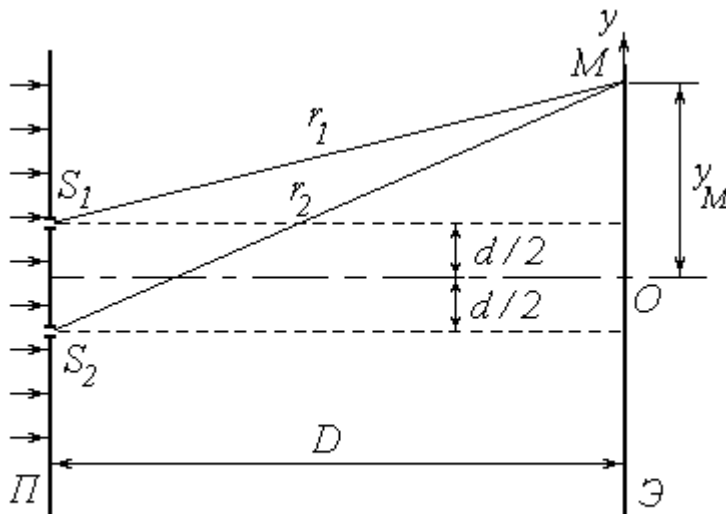


Рис. 32

этих щелей можно рассматривать как источник света, причем благодаря одинаковой частоте и постоянной во времени разности фаз эти источники когерентны. Расходящиеся от них световые пучки перекрываются, и на экране Э можно наблюдать результат их наложения, т.е. картину интерференции.

В произвольную точку M экрана приходят

две волны и возбуждают колебания

$$E_1 = E_m \cdot \cos \varphi_1 \quad \text{и} \quad E_2 = E_m \cdot \cos \varphi_2,$$

разность фаз которых, согласно (2), равна

$$\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda}, \quad (3)$$

где $\Delta = (r_1 - r_2)$ – разность хода лучей от источников до точки M . Амплитуда результирующего колебания в точке M определяется выражением

$$E^2 = 2E_m^2 \cdot (1 + \cos \delta),$$

а интенсивность света в данной точке

$$I = 2I_0 \cdot (1 + \cos \delta), \quad (4)$$

где I_0 – интенсивность от каждого из источников в отдельности.

Таким образом, результат интерференции зависит от величины $\cos \delta$. При $\cos \delta = -1$ интенсивность $I = 0$; совокупность таких точек на экране образует ряд темных полос. При $\cos \delta = 1$ интенсивность максимальна: $I = I_{max} = 4I_0$ – такие точки образуют светлые полосы.

Как известно, $\cos \delta = 1$ при $\delta = 2k\pi$ и $\cos \delta = -1$ при $\delta = (2k + 1)\pi$, где $k \in \mathbb{Z}$. С учетом выражения (3) получим условия наблюдения максимумов

$$\Delta = k\lambda \quad (5)$$

и минимумов

$$\Delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}. \quad (6)$$

Найдем положение соответствующих точек, т.е. координаты светлых и темных полос на экране. Направим ось Oy вертикально в плоскости экрана \mathcal{E} ; начало координат совместим с центром наблюдаемой картины (см. рис. 32). Воспользуемся теоремой Пифагора:

$$r_1^2 = D^2 + \left(y_M - \frac{d}{2} \right)^2;$$

$$r_2^2 = D^2 + \left(y_M + \frac{d}{2} \right)^2.$$

Вычитая почленно первое уравнение из второго, получим

$$r_2^2 - r_1^2 = 2yd$$

или

$$(r_2 + r_1)(r_2 - r_1) = 2yd \quad (7)$$

(здесь и в дальнейшем индекс « M » у координаты исследуемой точки опущен).

Расстояние между щелями d составляет менее 1 мм, а расстояние от щелей до экрана D – несколько десятков сантиметров. Поэтому можно с достаточной степенью точности положить величину $(r_2 + r_1) \approx 2D$. Учитывая также, что $(r_2 - r_1) = \Delta$, преобразуем (7) к виду

$$\Delta = \frac{d}{D} \cdot y. \quad (8)$$

Координаты светлых полос найдем, подставляя (8) в условие максимума (5):

$$y_k = \frac{kD\lambda}{d}.$$

Ширина интерференционной полосы Δy (расстояние между соседними максимумами или минимумами) может быть определена как

$$\Delta y = y_{k+1} - y_k = \frac{D\lambda}{d}.$$

Полученное соотношение позволяет по известным расстояниям d , D и Δy найти длину волны излучения:

$$\boxed{\lambda = \frac{\Delta y \cdot d}{D}}. \quad (9)$$

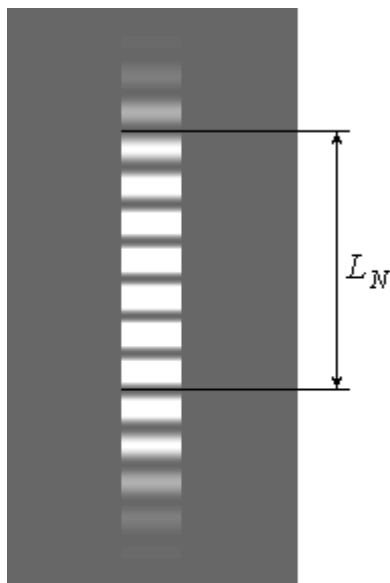


Рис.33

Примерный вид интерференционной картины от двух щелей показан на рис. 33. Для практического определения ширины интерференционной полосы необходимо измерить расстояние L_N , на котором укладывается целое число N светлых полос. Ширина полосы находится из очевидного соотношения

$$\Delta y = \frac{L_N}{N} \quad (10)$$

(чем больше N , тем точнее будет определена величина Δy ; в приведенном на рис. 33 примере $N = 7$).

Порядок измерений и обработки результатов

1. Ознакомьтесь с приборами на рабочем столе; расположите их в нужной последовательности на одной прямой согласно схеме на с. 102.

2. Подключите к сети блок питания *БП* лазера; с помощью тумблера на панели *БП* включите лазер.

3. Ослабив регулировочный винт 4 штатива 2 и перемещая пластинку *П* по вертикали, добейтесь того, чтобы лазерный луч точно попадал на рекомендованную пару щелей. Зафиксируйте это положение пластинки винтом 4.

4. Установите экран *Э* на таком расстоянии от пластинки *П*, чтобы наблюдалась четкая картина интерференции с хорошо различимыми светлыми (красными) и темными полосами.

☒ 5. Используя имеющийся в лаборатории плакат, определите расстояние между щелями d .

☒ 6. С помощью сантиметра или рулетки измерьте расстояние D между пластинкой *П* и экраном *Э* (т.е. между центрами штативов 2 и 3).

7. Занесите величины d и D в соответствующие столбцы таблицы.

Номер опыта	d , мм	D , мм	N	L_N , мм	Δy , мм	λ , нм	$\Delta \lambda$, нм	$(\Delta \lambda)^2$, нм ²
1								
...
6								
$\Sigma =$							$\Sigma =$	

8. Приложите к экрану Э линейку. Тщательно отсчитайте возможно большее число светлых полос N и измерьте расстояние между ними L_N , как показано на рис. 33. (При выполнении работы на реальной лабораторной установке удобнее сначала приложить к экрану полоску бумаги и на ней отметить края соответствующих светлых полос штрихами). Значения N и L_N занесите в таблицу.

9. Измените расстояние D между щелями и экраном. Повторите пп. 6-8.

10. Повторите пп. 3-9 с еще двумя рекомендованными парами щелей (общее число опытов должно быть равным шести).

11. Для каждого из опытов рассчитайте по формуле (10) ширину интерференционной полосы Δu , а затем – длину волны излучения λ по формуле (9). Результаты расчетов запишите в таблицу, переведя значение λ из мм в нм.

12. Вычислите сумму найденных значений λ и определите ее среднее значение $\bar{\lambda}$.

13. Выполните все расчеты, необходимые для оценки случайной погрешности измерения длины волны $\Delta_s \lambda$. Найдите величину $\Delta_s \lambda$, задаваясь дверительной вероятностью $\alpha = 0,95$.

14. Оцените абсолютные приборные ошибки прямых измерений δd , δD и δL_N , а также относительные ошибки E_d , E_D и E_L . Найдите абсолютную погрешность косвенного измерения длины волны $\delta \lambda$, при необходимости используя формулу

$$\delta \lambda = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{E_d^2 + E_D^2 + E_L^2}.$$

15. Оцените полные абсолютную Δ и относительную E погрешности. Сделав необходимые округления, запишите окончательный результат измерения длины волны лазерного излучения.

Контрольные вопросы

1. Интерференция световых волн. Когерентные источники света и методы их получения.
2. Оптическая разность хода лучей. Условия наблюдения минимумов и максимумов при интерференции.
3. Опыт Юнга. Расчет интерференционной картины от двух источников.
4. Виды погрешностей измерения и способы их оценки.