

Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественных и математических наук»

ФИЗИКА

Методические указания к
выполнению лабораторной работы

“ ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА ”

для студентов направления

21.03.01 «Нефтегазовое дело»

очной и очно-заочной формы обучения

Энгельс 2024

ЯВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

При сложении двух или нескольких световых волн эти волны могут, как взаимно усилить друг друга, так и взаимно ослабить. Интенсивность результирующего колебания может оказаться как больше, так и меньше суммы интенсивностей складывающихся световых колебаний.

Интерференцией света называется сложение когерентных световых волн, в результате которого получается устойчивая интерференционная картина, то есть чередование темных и светлых полос на экране, освещенном двумя или несколькими когерентными источниками света.

КОГЕРЕНТНОСТЬ СВЕТОВЫХ ВОЛН

Свет можно рассматривать как электромагнитную волну, в каждой точке которой вектор напряженности электрического поля E совершает гармонические колебания

$$E = E_0 \cdot \sin(2\pi\nu t + \varphi_0)$$

Здесь E_0 – амплитуда напряженности. Аргумент синуса $(2\pi\nu t + \varphi_0)$ называется фазой колебания.

Фаза колебания характеризует в каждый момент времени t величину и направление напряженности электрического поля. Величина φ_0 называется начальной фазой, так как в момент $t = 0$ фаза равна φ_0 .

Устойчивая интерференционная картина может получиться только в случае, когда интерферируют когерентные световые волны.

Когерентными световыми волнами называются волны, у которых разность фаз световых колебаний в каждой точке не меняется с течением времени.

Когерентными источниками света называются источники, испускающие волны в одинаковых фазах или с постоянной разностью фаз. Необходимым условием когерентности является равенство частот испускаемых источниками волн.

Однако для естественных источников света равенства частот еще недостаточно, чтобы волны были когерентными. Все источники света

содержат огромное количество атомов, которые являются элементарными источниками световых волн. Процесс излучения каждого атома длится очень короткое время, порядка 10^{-8} с, обрываясь вследствие потери энергии на излучение.

После прекращения атом должен получить энергию и может снова испускать световые волны, но уже с новой начальной фазой. Поэтому разность фаз между излучениями независимых атомов будет изменяться в начале всякого нового акта испускания, то есть через чрезвычайно короткие промежутки времени.

При сложении от двух независимых источников света, например, от двух лампочек, разность фаз быстро хаотично меняется, и никакой устойчивой интерференционной картины мы не наблюдаем.

Когерентные источники можно получить искусственным путем. Для этого свет от одного источника делят на два пучка. Эти пучки можно трактовать как исходящие из двух совершенно одинаковых источников. Все элементарные акты излучения, происходящие в одном источнике, одновременно повторяются и в другом, то есть пучки света когерентны. При наложении их друг на друга получается интерференционная картина.

УСЛОВИЯ МАКСИМУМА И МИНИМУМА ИНТЕНСИВНОСТИ

Пусть некоторый экран освещен двумя когерентными источниками света S_1 и S_2 (рис. 1). Возьмем на экране произвольную точку M и вычислим в этой точке интенсивность света J . Этот расчет будет справедлив для любой точки экрана.

Уравнение световой волны запишем в виде:

$$E = E_0 \cdot \sin 2\pi \left(vt - \frac{d}{\lambda} \right)$$

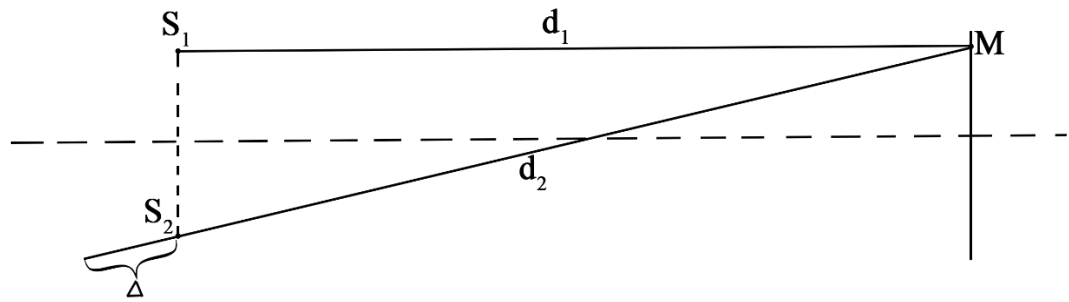


Рис. 1

Здесь ν – частота световых колебаний, измеряемая в герцах (Гц), λ – длина световой волны.

Длиной волны называется расстояние, на которое распространяется волна за время одного периода колебания T . Длину волны можно также определить как кратчайшее расстояние между двумя точками, в которых колебания происходят в одинаковых фазах. d – расстояние от источника колебаний, измеренное в направлении распространения волны.

Пусть расстояния от источников до точки M равны соответственно $d_1 = S_1M$ и $d_2 = S_2M$. Запишем уравнения колебаний, создаваемых первой и второй волнами в точке M в виде

$$E_1 = E_0 \cdot \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{d_1}{\lambda} \right)$$

$$E_2 = E_0 \cdot \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{d_2}{\lambda} \right)$$

Результирующее колебание получим, сложив E_1 и E_2 . Для этого воспользуемся формулой из тригонометрии

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

взяв в качестве α и β соответствующие аргументы синуса.

Совершив преобразования получим:

$$E = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos \pi \left(\frac{d_2 - d_1}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{d_2 + d_1}{2\lambda} \right)$$

Полученное выражение представляет собой уравнение результирующего гармонического колебания

$$E_{0 \text{ рез}} = 2E_0 \cdot \cos \pi \left(\frac{d_2 - d_1}{\lambda} \right)$$

Определив результирующую амплитуду, найдем теперь интенсивность света в точке M . Интенсивность света определяется как величина, пропорциональная квадрату амплитуды световых колебаний.

Следовательно,

$$J \sim E_{0 \text{ рез}}^2 = 4E_0^2 \cdot \cos^2 \pi \left(\frac{d_2 - d_1}{\lambda} \right) = 4E_0^2 \cdot \cos^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda}$$

Величину $\Delta = d_2 - d_1$ называют разностью хода лучей. Геометрическая разность хода – это разность путей ($S_2M - S_1M$), пройденных лучами от первого и второго когерентных источников до точки, в которой они интерферируют (складываются).

Итак, мы видим, что результирующая интенсивность в каждой точке экрана зависит от разности хода лучей до этой точки.

Найдем выражение для разностей хода, соответствующих максимуму и минимуму интенсивности. Рассмотрим выражение

$$J = 4E_0^2 \cos^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda}$$

И, учитывая, что $\cos^2 \pi \cdot \frac{\Delta}{\lambda}$ может меняться от 0 до +1, установим, что максимальное значение J достигается при $\cos^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda} = 1$, при этом аргумент косинуса $\pi \frac{\Delta}{\lambda} = 0, \pm\pi, \pm2\pi, \dots$ откуда $\Delta = 0, \pm\lambda, \pm2\lambda, \dots$ Это выражение удобно записать $\Delta = 0, \pm2\frac{\lambda}{2}, \pm4\frac{\lambda}{2}, \dots$

Минимальное значение J достигается в тех точках, для которых $\cos^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda} = 0$; аргумент косинуса при этом $\pi \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, 3\frac{\pi}{2}, 5\frac{\pi}{2}, \dots$ и разность хода $\Delta = \frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, 5\frac{\lambda}{2}, \dots$

Запишем условие максимума и минимума интенсивности в общем виде. Возьмем целое число $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ Любое число $2k$ будет четным,

а $2k + 1$ – нечетным числом.

Тогда условие максимума интенсивности можно записать:

$$\Delta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$$

то есть максимальной интенсивности соответствует разность хода, равная четному числу полуволн.

СВЯЗЬ МЕЖДУ РАЗНОСТЬЮ ХОДА И РАЗНОСТЬ ФАЗ

Мы предполагаем, что когерентные источники излучают свет в одинаковых фазах. В точке интерференции возникает некоторая разность фаз колебания, обусловленная разностью хода волн.

Так как уравнения колебаний в точке М имеют вид:

$$E_1 = E_0 \cdot \sin 2\pi \left(vt - \frac{d_1}{\lambda} \right)$$

$$E_2 = E_0 \cdot \sin 2\pi \left(vt - \frac{d_2}{\lambda} \right)$$

то разность фаз легко выразить через разность хода

$$\delta = 2\pi \left(vt - \frac{d_1}{\lambda} \right) - 2\pi \left(vt - \frac{d_2}{\lambda} \right) = 2\pi \frac{d_2 - d_1}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}$$

В точках максимума интенсивности

$$\Delta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \text{ откуда } \delta = \pm 2k\pi$$

В этом случае говорят, что колебания происходят в одинаковых фазах.

В точках минимума интенсивности

$$\Delta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ откуда } \delta = \pm (2k + 1)\pi$$

то есть колебания происходят в противоположных фазах.

В точках экрана, где не выполняется ни условие максимума, ни условие минимума, наблюдается некоторая промежуточная интенсивность света.

ЗАДАНИЕ №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ОТ ДВУХ ЩЕЛЕЙ ПОЛУЧЕНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Один из методов получения когерентных источников света был впервые использован Юнгом. Чтобы разделить свет одного источника Юнг использовал систему щелей (рис. 2).

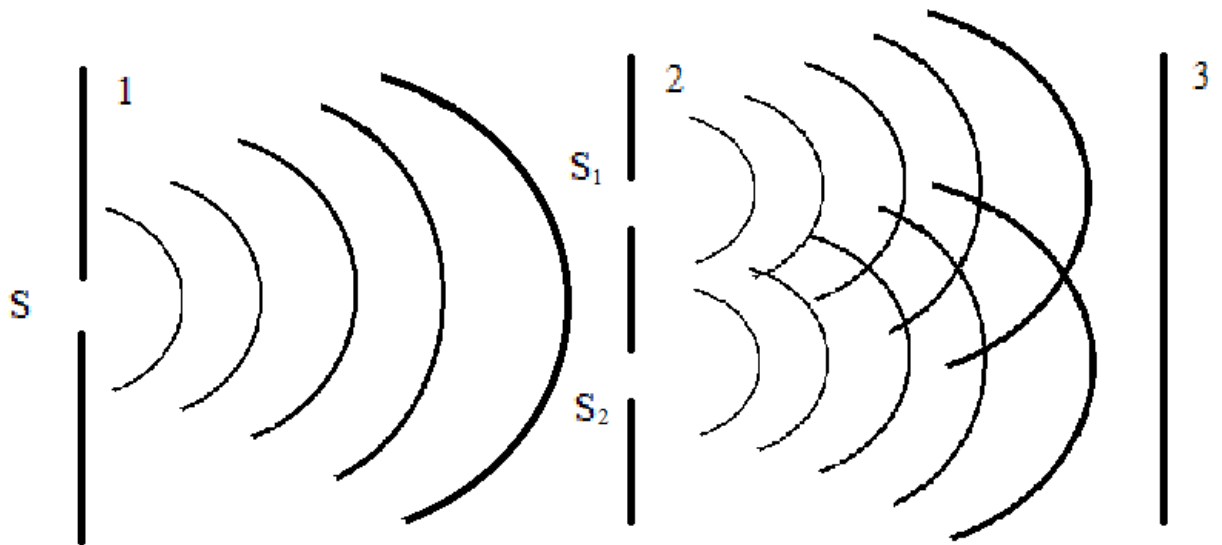


Рис. 2

Яркий источник света S освещает щель в экране 1. Согласно принципу Гюйгенса, каждую точку щели можно считать источником новых сферических волн, которые называются вторичными волнами.

Вторичные волны огибают края щели и падают на пластинку 2, в которой прорезаны две параллельные щели S_1 и S_2 . Эти щели в свою очередь становятся источником вторичных волн. Так как обе щели освещаются участками одной и той же волны, то они являются когерентными источниками света. Все колебания, происходящие в одной щели, одновременно повторяются в другой.

Экран 3 освещается когерентными источниками S_1 и S_2 , и на нем наблюдается устойчивая интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос, параллельных щелям.

ВЫВОД РАБОЧЕЙ ФОРМУЛЫ

Наблюдая интерференционную картину от щелей Юнга, можно определить длину световой волны. Зададим положение светлых и темных полос на экране расстоянием l от центра экрана (рис. 3).

Здесь b – расстояние между щелями, L – расстояние от щелей до экрана. Если l намного меньше L , то можно написать приближенное соотношение

$$\frac{\Delta}{b} = \frac{l}{L}, \text{ отсюда } l = \frac{L}{b} \cdot \Delta$$

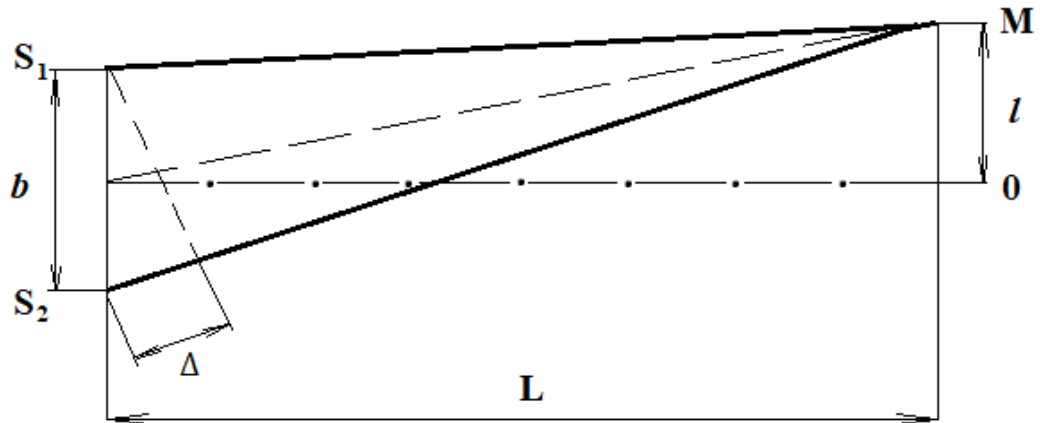


Рис. 3

Как мы установили, светлая полоса в точке M наблюдается, если $\Delta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$, где $k = 1, 2, 3, \dots, t$ в данном случае номер полосы.

Следовательно, расстояние от центра экрана до любой светлой полосы определяется из выражения $l_k = \frac{L}{b} \cdot k\lambda$ (мы подставили условие максимума в выражение для l).

Расстояние между полосами с номерами m и n равно:

$$l_m - l_n = \frac{L}{b} m\lambda - \frac{L}{b} n\lambda = \frac{L}{b} (m - n)\lambda$$

Темные полосы располагаются между светлыми. Расстояние между ними определяется по той же формуле, что легко проверить, подставив в формулу $l = \left(\frac{L}{b}\right) \Delta$ – условие минимума.

Из полученной выше формулы легко выразить длину световой волны:

$$\lambda = \frac{l_m - l_n}{m - n} \cdot \frac{b}{L}$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ИЗМЕРЕНИЯ

Установка (рис.4) состоит из осветителя с вертикальной щелью 1, подвижного экрана с двумя щелями 2 и измерительного микроскопа 3.

Расстояние b между щелями и расстояние L от плоскости с двумя щелями до плоскости интерференционных полос приведены на стенде.

Затем включается осветитель, при этом в поле зрения микроскопа должны появиться четкие интерференционные полосы. Если полосы не появились, следует обратиться к преподавателю.

Последним этапом работы является измерение расстояний между интерференционными полосами. Для измерения $l_m - l_n$ берут цветные полосы. Цвет задает преподаватель.

Определяют отсчет по шкале для середины любой полосы в левой части поля зрения (рис. 5). Эту полосу можно условно принять за первую ($n = 1$), затем выбирают полосу в правой части поля зрения и подсчетом определяют ее номер m . Берут отсчет по шкале для середины этой полосы. Например, полоса №1, отсчет 2,15; полоса №4, отсчет 2,45. Разность отсчетов дает расстояние между интерференционными полосами.

Затем выбирают в правой части поля зрения цветную полосу с другим номером k и берут отсчет по шкале для середины этой полосы.

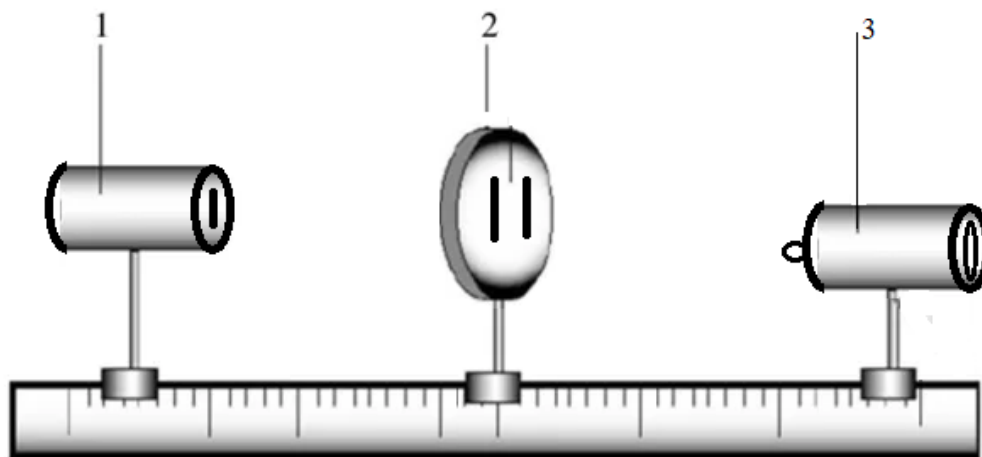


Рис. 4

Разность отсчетов между n и k даст новое расстояние между интерференционными полосами $l_n - l_k$.

По рабочей формуле подсчитывают полученную длину волны и вычисляют среднее значение длины волны.

В отчете по работе должны быть приведены все взятые по шкалам отсчеты с посменным объяснением значения всех чисел, значение длин волн из каждого измерения, полученное по рабочей формуле, и среднее значение длины волны, выраженное в миллиметрах и нанометрах ($1\text{мм} = 10^6\text{ нм}$).

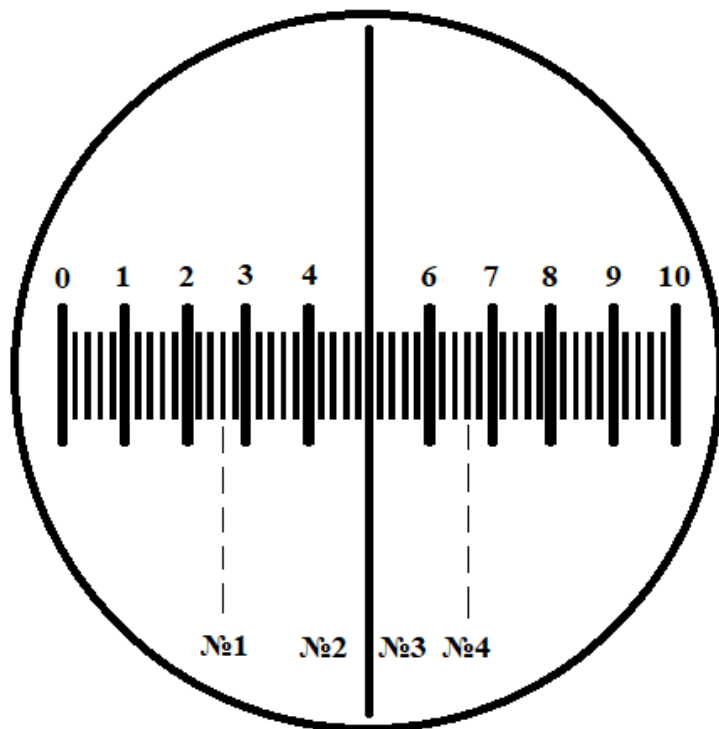


Рис. 5