Как линейкой измерить длину волны лазерного излучения?

В.МОЖАЕВ

Судя по названию статьи ясно, что речь будет идти о волновых свойствах света. Волновые представления используются при описании таких хорошо известных физических явлений, как интерференция и дифракция света. С этими явлениями тесно связано очень важное понятие когерентности волн.

Пусть в некоторую точку пространства от двух источников приходят два монохроматических волновых возмущения с одинаковой длиной волны λ. Если источник *1* находится на расстоянии r_1 от точки наблюдения, а источник *2* – на расстоянии r_2, то зависимость, например для электромагнитной волны, напряженности электрического поля в данной точке, создаваемой обеими электромагнитными волнами, будет иметь вид

$$E(t) = E_{01}\cos(\omega t - kr_1) + E_{02}\cos(\omega t - kr_2),$$

где E_{01} и E_{02} – амплитуды напряженностей электромагнитных волн, $\omega = 2\pi c/\lambda$ – их круговая частота, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число (считаем, что начальные фазы волн совпадают). Происходит сложение двух колебаний, сдвинутых по фазе на величину $\Delta\varphi = (\omega t - kr_1) - (\omega t - kr_2) = k(r_2 - r_1)$. Два колебания считаются когерентными, если за время наблюдения разность фаз $\Delta\varphi$ остается постоянной. В этом случае амплитуда E_0 результирующего колебания зависит от $\Delta\varphi$ и остается неизменной за время наблюдения:

$$E_0 = \sqrt{E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos\Delta\varphi}.$$

К сожалению, монохроматическая волна – это чисто математическое понятие, такие волны не имеют физического смысла, их нет в природе. (Наиболее близкие к монохроматическим волны излучают оптические квантовые генераторы, т.е. лазеры.) Нет в природе и когерентных источников, т.е. источников, излучающих когерентные волны. В различных оптических схемах для получения интерференционной картины в качестве когерентных источников обычно используют два мнимых источника, полученных от одного действительного, или один действительный, а другой – его мнимое изображение.

А теперь перейдем к рассмотрению конкретных оптических схем.

Задача 1. *Любую оптическую схему по наблюдению интерференционной картины можно представить в упрощенном виде, изображенном на рисунке 1. Два точечных когерентных источника S_1 и S_2, излучающих свет с длиной волны λ, находятся на расстоянии d друг от друга. На расстоянии L от источников расположен экран. Определите ширину интерференционных полос при условии, что $d \ll L$.*

Очевидно, что интерференционная картина в плоскости рисунка 2 симметрична относительно начала координат ($z = 0$).

Пусть координата m-го максимума интенсивности равна z_m. Это означает, что в точку с координатой z_m от источников S_1 и S_2 приходят волны с оптической разностью хода, равной $m\lambda$, где m – некоторое целое число, т.е.

$$r_2 - r_1 = m\lambda.$$

Из рисунка 2 находим

$$r_2 = \sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2} + z_m\right)^2},$$

$$r_1 = \sqrt{L^2 + \left(z_m - \frac{d}{2}\right)^2}.$$

С учетом того, что $d/2 + z_m \ll L$, можно записать

$$r_2 = L\sqrt{1 + \left(\frac{d/2 + z_m}{L}\right)^2} \approx L + \frac{(d/2 + z_m)^2}{2L},$$

$$r_1 = L\sqrt{1 + \left(\frac{z_m - d/2}{L}\right)^2} \approx L + \frac{(z_m - d/2)^2}{2L},$$

откуда

$$r_2 - r_1 \approx \frac{dz_m}{L}.$$

В этом приближении условие того, что максимуму m-го порядка соответствует координата z_m, имеет вид

$$\frac{dz_m}{L} = m\lambda.$$

Аналогично, для соседнего максимума $(m+1)$-го порядка запишем

$$\frac{dz_{m+1}}{L} = (m+1)\lambda,$$

где z_{m+1} – координата максимума $(m+1)$-го порядка.

Ширина интерференционных полос Δx – это расстояние между двумя соседними максимумами, т.е.

$$\Delta x = z_{m+1} - z_m = \frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda}{\psi},$$

где $\psi = d/L$ – угол сходимости интерферирующих лучей.

Приведем без вывода точное выражение для ширины интерференционных полос:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\sin(\psi/2)}.$$

(Окончание см. на с. 34)

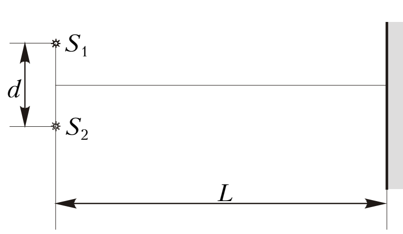

Рис. 1

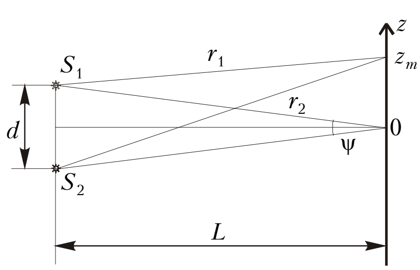

Рис. 2