

УДК 535.41

Л. А. ВЕЛИЧКО, Т. Л. КУШНЕР

Брест, БрГТУ

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ: ОПЫТ МЕСЛИНА

Явление интерференции имеет место при сложении когерентных волн. При решении проблемы когерентности были предложены способы разделения светового пучка на два (зеркала Френеля, зеркало Ллойда, бипризма Френеля, билинза Бийе и др.). Такое разделение приводит к тому, что вместо одного источника появляются два S_1 и S_2 , расположенных вдоль линии, перпендикулярной оси, на которой находится источник S . При этом интерференционная картина наблюдается на экране, который располагается параллельно линии источников S_1S_2 .

Иное взаимное расположение линии источников и оптической оси системы было предложено в опыте Меслина [1, с. 295]. Схема опыта представлена на рисунке 1.

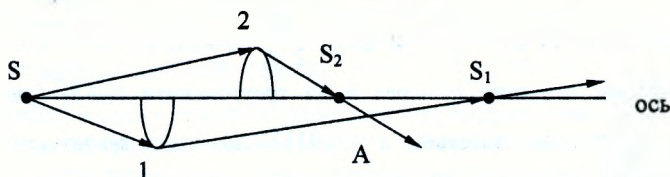


Рисунок 1

На оптической оси, где находится источник S , располагали две половинки (1, 2) линзы, разрезанной по диаметру, сместив их на некоторое расстояние друг относительно друга. *Линия действительных изображений S_1 и S_2 совпадает с главной оптической осью линзы.*

Будем считать источник S , полученные изображения S_1 и S_2 точечными. Поле волны является сферическим, т. е. имеет место пространственное распределение энергии волны. Интерференционные полосы (чередование максимумов и минимумов) можно наблюдать на экране, поставленном в определенном месте интерференционного пространства [2, с. 119]. Геометрическое место точек, имеющих одинаковую разность хода Δ , или одинаковую разность фаз $\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda}$ лучей от источников S_1 и S_2 до конкретной точки, есть гиперboloид вращения, осью вращения которого является линия S_1S_2 [3, с. 193].

При рассмотрении интерференционной картины на плоскости, гиперболы вблизи центра картины «вырождаются» в прямые полосы. Область перекрытия пучков света в опыте на схеме опыта Меслина обозначена треугольником S_1AS_2 (рисунок 1).

Произведем расчеты геометрических параметров этой области, где имеет место интерференция света. Зададим следующие исходные данные: диаметр линзы $D = 10$ см; фокусное расстояние линзы $F = 20$ см; расстояние от источника до первой половинки линзы $d_1 = 25$ см; смещение одной половинки относительно другой $\Delta d = 0,5$ см (рисунок 1 иллюстрирует положение элементов, а не размеры). Длина волны $\lambda = 500$ нм.

Обозначим расстояние S_1S_2 между изображениями источника S , получаемых в обеих половинках линзы, через ΔS . Длина $\Delta S = f_1 - f_2 - \Delta d$, где f_1 и f_2 – расстояния от изображений S_1 и S_2 до половинок линзы 1 и 2 соответственно. Воспользуемся формулой тонкой линзы и вычислим расстояния f_1 и f_2 : $f_1 = \frac{d_1 \cdot F}{d_1 - F} = 100$ см и $f_2 = \frac{(d_1 + \Delta d) \cdot F}{(d_1 + \Delta d) - F} = 92,73$ см. Тогда $\Delta S = 6,77$ см.

$\lambda < \Delta S$, следовательно, интерференционное поле двух источников имеет максимумы для нескольких направлений излучения. Значения углов (рисунок 2) $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{D}{2 \cdot f_1}$ и $\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{D}{2 \cdot f_2}$, откуда $\varphi_1 = 2^\circ 55'$ и $\varphi_2 = 3^\circ 5'$.

Выразим значение a через b из треугольника S_1AS_2 (рисунок 2). $\frac{a}{\sin \varphi_1} = \frac{b}{\sin \varphi_2}$, следовательно, $a = 0,9353b$. Из этого заключаем, что треугольник S_1AS_2 не является равнобедренным. Перпендикуляр, проведенный из точки A , не пройдет через середину стороны S_1S_2 .

Из треугольника S_2OA определим длину OA : $\cos \varphi_2 = \frac{x}{a} = \frac{x}{0,9353b}$. Из треугольника S_1OA $\cos \varphi_1 = \frac{\Delta S - x}{b}$. Значение $x = 3,5117$ см. $OA = x \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 0,2026$ см.

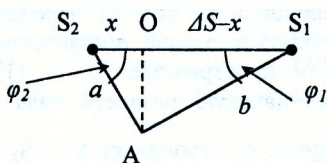


Рисунок 2

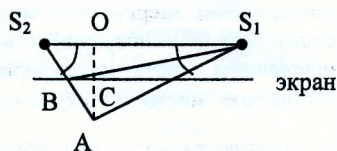


Рисунок 3

Экран для наблюдения интерференционной картины расположим в точке А параллельно линии S_1S_2 . Интерференционная картина неполная. Определим разность хода лучей от источников S_1 и S_2 до точки А.

$\Delta_A = b - a = b - 0,9353b = 0,0647b = 0,2540$ см. Из условия максимума определим порядок наблюдаемого максимума в точке А. $m_A = 5080$.

Сместим экран к линии S_1S_2 на расстояние $OA/2$ (рисунок 3). Выберем на экране точки В и С. Обозначим $\Delta_B = S_1B - S_2B$ как разность хода лучей и от источников S_1 и S_2 до точки В. $\Delta_B = 3,304$ см. Полагая, что в точке В наблюдается максимум, определим его порядок. $m_B = \Delta_B / \lambda = 66080$. Аналогичные расчеты произведем для точки С. Разность хода $\Delta_C = S_1C - S_2C = 0,2466$ см. Порядковый номер максимума в точке С $m_C = 4932$. Количество максимумов, наблюдаемых на расстоянии $BC = 1,6323$ см, составляет $\Delta m_{BC} = 66080 - 4932 = 61148$. Определим значение ширины интерференционной полосы $\Delta r = \frac{1,6323}{61148} = 0,267 \cdot 10^{-4}$ см.

Поскольку $\Delta r > \frac{\lambda}{2}$, максимумы являются различимыми.

Рассмотрим результаты интерференции в плоскости, лежащей вдоль OA перпендикулярно линии S_1S_2 . Учитывая ранее проведенные вычисления, расстояние $AC = AO/2 = 0,1013$ см, $\Delta m_{AC} = 5080 - 4932 = 148$. Тогда ширина интерференционной полосы $\Delta y = \frac{0,1013}{148} = 6,845 \cdot 10^{-4}$ см. Итогом интерференции в плоскости, расположенной перпендикулярно линии S_1S_2 , являются концентрические окружности с центром на S_1S_2 . В опыте Меслина область перекрытия пучков ограничена горизонтальной плоскостью, проходящей через ось S_1S_2 . Поэтому интерференционная картина состоит только из темных и светлых полуколец.

Итак, в зависимости от вида наблюдения, вдоль или поперек пучка, в плоских сечениях, проведенных в объемном интерференционном поле световых волн, наблюдаются разные интерференционные картины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1973. – 855 с.
2. Поль, Р. В. Оптика и атомная физика / Р. В. Поль. – М. : Наука, 1966. – 552 с.
3. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 4 : Оптика. – 792 с.
4. Новодворская, Е. М. Методика проведения упражнений по физике во вузе / Е. М. Новодворская, Э. М. Дмитриев. – М. : Высш. шк., 1981. – 315 с.