

Интерференция лазерного излучения

Батарин Егор

22 апреля 2021 г.

Аннотация

Цель работы: исследовать зависимость видности интерференционной картины от разности хода интерферирующих лучей и от их поляризации. Точнее говоря, нужно исследовать: а) характер поляризации лучей в интерферометре; б) зависимость видности интерференционной картины от угла α между плоскостями поляризации интерферирующих волн при нулевой разности хода; в) зависимость видности интерференционной картины от разности хода интерферирующих лучей для угла $\alpha = 0$. По результатам измерений следует оценить спектральные характеристики лазерного излучения.

1 Теория

1.1 Видность интерференционной картины

Для описания четкости интерференционной картины вводится видность:

$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (1)$$

Интенсивность для моды лазерного излучения с частотой f_m интерференционной картины двух волн с амплитудами A_m и B_m имеет вид:

$$I_m = A_m^2 + B_m^2 + 2A_mB_m \cos(k_m l)$$

где волновое число $k_m = \frac{2\pi}{\lambda_m}$. По формуле (1) можно определить видность интерференционной картины, где положено $\delta = \frac{B_m^2}{A_m^2} \therefore$

$$\gamma_1 = \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}$$

Интенсивность нескольких мод лазерного излучения имеет вид:

$$I = \sum_m I_m = \sum_m A_m^2 \left[1 + \delta + 2\sqrt{\delta} \cos \left(\frac{2\pi f_m l}{c} \right) \right] \quad (2)$$

Учтем теперь влияние спектрального состава света на видность интерференционной картины. Для упрощения выкладок мы предположим, что частота наиболее интенсивной моды совпадает с центром доплеровского контура f_0 , а симметричные относительно f_0 моды имеют одинаковую амплитуду. В этом случае можно записать:

$$f_m = f_0 + n\Delta\nu; \quad A_m^2 = A_{-n}^2; \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим:

$$I = \sum_n A_n^2 \left[1 + \delta + 2\sqrt{\delta} \cos \left(\frac{2\pi f_n l}{c} \right) \cos \left(\frac{2\pi \Delta\nu}{c} nl \right) \right]$$

Поэтому, видность равна $\gamma = \gamma_1 \gamma_2$, где

$$\gamma_2(l) = \frac{\sum_n A_n^2 \frac{2\pi \Delta\nu nl}{c}}{\sum_n A_n^2} \quad (4)$$

Вблизи максимума, выражение (4) преобразуется к виду $\gamma_2 = e^{-\left(\frac{\pi \Delta F l}{c}\right)^2}$.

При учете поляризации видность равна $\gamma = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$, где $\gamma_3 = \cos \alpha$, а α - угол между плоскостями поляризации.

1.2 Измерение коэффициента видности

Экспериментальное измерение видности производится по картинке на осциллографе:

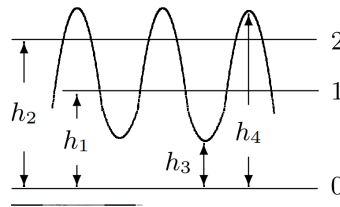


Рис. 1: Осциллограмма сигналов фотодиода

Через указанные параметры можно выразить видность γ и параметр δ :

$$\delta = \frac{h_1}{h_2} \text{ (или } \frac{h_2}{h_1}); \quad \gamma = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3}$$

Измерив величины h_1 , h_2 , h_3 и h_4 , можно рассчитать γ и γ_1 , а затем определить видность при данной разности хода l для угла между плоскостями поляризации лучей $\alpha = 0$ ($\gamma_3 = 1$):

$$\gamma_2(l) = \frac{\gamma}{\gamma_1}$$

или при $l = 0$, ($\gamma_2 = 1$) для известного угла α :

$$\gamma_3(|\cos \alpha|) = \frac{\gamma}{\gamma_1}$$

2 Выполнение

2.1 Зависимость видность интерференционной картины от угла поворота поляроида при нулевой разности хода

Будем сопоставлять две зависимости видности: экспериментальную - $\gamma_3 = \frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \cdot \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}$, где $\delta = \frac{h_1}{h_2}$ и теоретическую - $\gamma_3 = (|\cos \alpha|)$. Получим график:

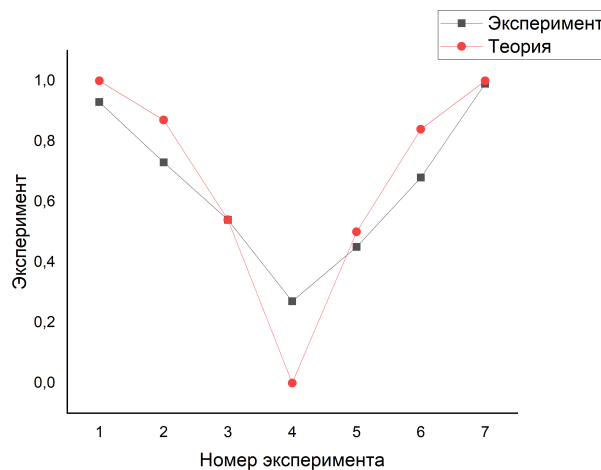


Рис. 2: Сравнение теории и эксперимента

Как видим, экспериментальная видность, в отличие от теоретической, не обращается в нуль при определенном значении угла. Это связано с неидеальностью спектра лазера и рассеянием света.

2.2 Зависимость видности от перемещения зеркала

Как и в предыдущем пункте, вычисляем экспериментальное значение видности по формуле: $\gamma_2 = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \cdot \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}$. Мы получим следующую зависимость от расстояния L :

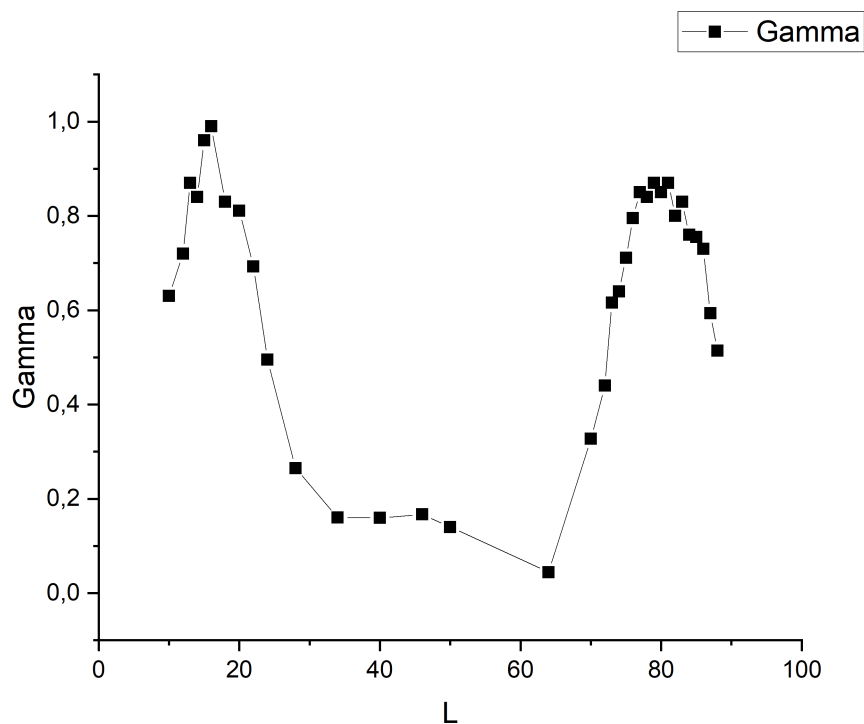


Рис. 3: Зависимость видности от перемещения зеркала

1. Наблюдаем максимумы по краям области $x_1 \approx (16 \pm 2)$ $x_2 \approx (82 \pm 2)$ и некоторые колебания в промежуточной области.
Откуда $L = (x_2 - x_1) = (64 \pm 2)$.
Межмодовое расстояние: $\Delta\nu = \frac{c}{2L} \approx (4,5 \pm 0,1) \cdot 10^8$.
2. Определим задержку $l_{1/2}$ на половине высоты главного максимума.
 $l_{1/2} \approx 6 \pm 2$.

3. Рассчитаем диапазон частот, в котором происходит генерация продольных мод:

$$\Delta F = \frac{0,6 \cdot c}{l_{1/2}} \approx (28,4 \pm 9,7) \cdot 10^8$$

4. Оценим число одновременно генерируемых лазером продольных мод:

$$n \approx 1 + \frac{1,2L}{l_{1/2}} \approx 11 \pm 4.$$

3 Вывод

Была исследована видность интерференционной картины. Рассчитали размер резонатора лазера: $L = (64 \pm 2)$, межмодовое расстояние $\Delta\nu = (4,5 \pm 0,1) \cdot 10^8$, диапазон частот, в котором происходит генерация продольных мод $\Delta F = (12,6 \pm 4,2) \cdot 10^8$, а также оценили число генерируемых лазером продольных мод $N \approx 11 \pm 4$.