



Московский Физико-Технический Институт
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

Интерференция лазерного излучения

Работа №4.5.2; дата: 04.03.23

Семестр: 4

Выполнил:
Кошелев Александр

Группа:
Б05-105

1. Введение

Цель работы:

Исследование видности интерференционной картины излучения гелий-неонового лазера и определение длины когерентности излучения.

В работе используются:

Не-Не-лазер, интерферометр Майкельсона с подвижным зеркалом, фотодиод с усилителем, осциллограф, поляроид, линейка.

Схема установки:

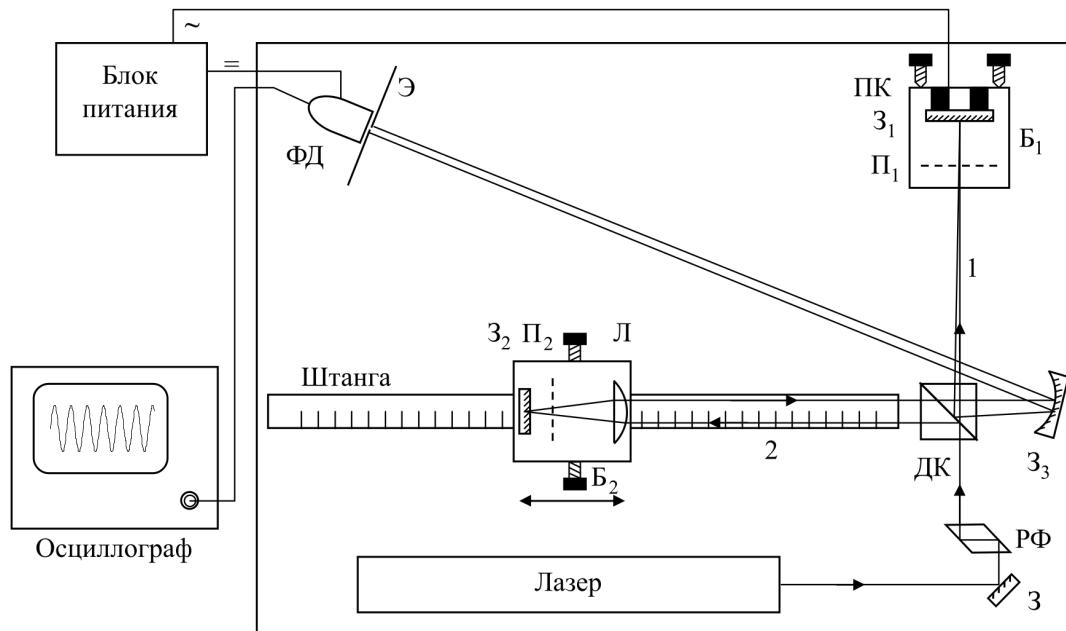


Рис. 1: Схема установки

В работе используется интерферометр Майкельсона. Луч лазера, отражённый от зеркала 3 и прошедший через параллелепипед Френеля (ПФ), делится делительной призмой ДП на два луча. Первый проходит блок Б₁ с поляроидом П₁ и зеркалом З₁, приклёнутым к пьезокерамике, которая может совершать малые колебания вдоль луча, с возможность изменения угла наклона зеркала. Второй проходит блок Б₂ с линзой Л, поляроидом П₂ и зеркалом З₂ в фокальной плоскости линзы, чтобы выходящий луч, в отличие от первого, был параллелен входящему. Оба луча, проходя ДП, попадают на сферическое зеркало З₃ и интерферируют на экране. Интенсивность света считывается фотодиодом на осциллографе через щель, параллельную интерферционным полосам, в центре экрана. На экране осциллографа наблюдаются колебания с изменяющимся периодом, так как на пьезокерамику подаются напряжение, из-за чего её длина колеблется.

2. Теоретическая справка

Гелий-неоновый лазер

Лазер представляет собой интерферометр Фабри-Перо – газовую трубку с двумя параллельными зеркалами по обе стороны. В лазере длиной L для излучения вдоль оси для резонансных частот выполняется:

$$f_m = \frac{c}{\lambda_m} = \frac{mc}{2L}$$

Условие генерации может выполняться для сразу нескольких колебаний с частотами f_m , расположеными в диапазоне генерации $2\Delta F$. В этом случае генерируется несколько волн – *мод* – межмодовое расстояние для которых:

$$\Delta\nu = f_{m+1} - f_m = \frac{c}{2L}$$

Число мод можно оценить как:

$$N \approx 1 + \frac{2\Delta F}{\Delta\nu}$$

Видность

Видность интерферционной картины – параметр, определяемый формулой:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

где I_{\max} , I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивности света интерферционной картины вблизи выбранной точки. Разобьём его на произведение функций параметров установки:

$$V = V_1 V_2 V_3$$

Здесь V_1 отвечает за соотношение интенсивности интерферирующих волн:

$$V_1 = \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}$$

где $\delta = \frac{B_m^2}{A_m^2}$, A_m и B_m – амплитуды волн. Параметр δ определяется устройством разделения волн. Функция V_2 отвечает за влияние разности хода и спектрального состава волн

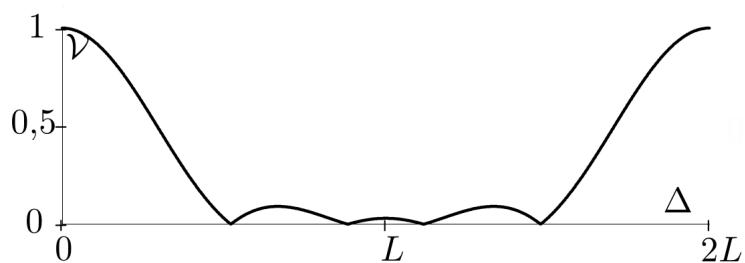
$$V_2 = \frac{\sum_n A_n^2 \cos \frac{2\pi\Delta\nu nl}{c}}{\sum_n A_n^2}$$

где l – разность хода, $\Delta\nu$ – спектральный состав излучения, A_n^2 – интенсивности мод. В непрерывном пределе получим:

$$V_2 = \exp \left(-\frac{\pi\Delta Fl}{c} \right)$$

для гауссовой линии излучения с полушириной ΔF получили гауссову зависимость $V_2 = V_2(l)$ с полушириной

$$l_{1/2} = \frac{c}{\pi\Delta F} \sqrt{\ln 2} \approx \frac{0.26c}{\Delta F}$$

Рис. 2: Зависимость $V_2(l)$

Последняя функция V_3 отвечает за разность в поляризации. Если α – угол между плоскостями поляризаций волн, то

$$V_3 = |\cos \alpha|$$

3. Ход работы

3.1. Методика измерений

Осциллограф мы используем для нахождения следующих величин: фоновой засветки (линия 0 – перекрыты оба пучка 1 и 2); интенсивность света каждого из пучков (линии 1 или 2 – перекрыт пучок 2 или 1); максимума и минимума интенсивности интерференционной картины (открыты оба пучка).

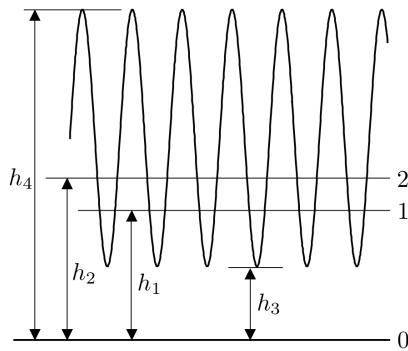


Рис. 3: Сигнал с фотодиода

Определенный ранее параметр δ рассчитывается как:

$$\delta = \frac{h_1}{h_2}$$

При этом видность рассчитывается очевидным образом:

$$V = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3}$$

Отсюда мы можем получить компоненты видности, фиксируя одну из них равной единице.

Так, при $\alpha = 0$ видность $V_3 = 1$:

$$V_2(l) = \frac{V}{V_1} = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \cdot \frac{1 + \delta}{2\sqrt{\delta}}$$

А приняв разность хода $l = 0$ видность $V_2 = 1$:

$$V_3(\alpha) = \frac{V}{V_1} = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \cdot \frac{1 + \delta}{2\sqrt{\delta}}$$

3.2. Исследование зависимости видности от поляризации

Пронаблюдаем интерференционную картину на экране. Поставим дополнительный поляроид между лазером и ПФ, вращая его, наблюдаем, что поляризация линейная.



Рис. 4: Минимум интенсивности

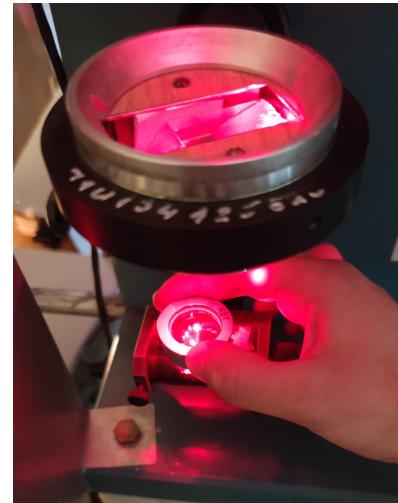


Рис. 5: Минимум интенсивности

Исследуем зависимость видности интерференционной картины от угла α между плоскостями поляризации интерферирующих лучей. На фотодатчике получаем зависимости вида:

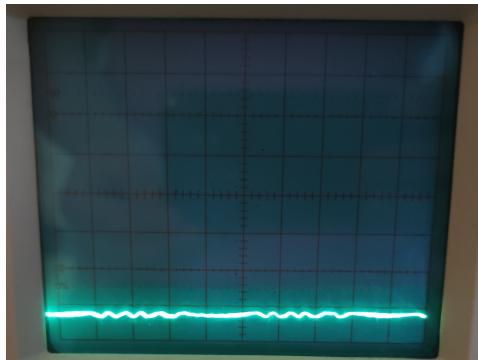


Рис. 6: Показания фотодатчика

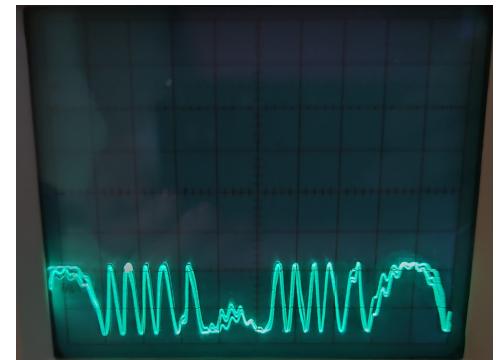


Рис. 7: Показания фотодатчика

Полученные данные занесем в [Табл. 1](#).

$\alpha, {}^\circ$	h_1 , дел	h_2 , дел	h_3 , дел	h_4 , дел	V_3 , ед
80 ± 1	1.30 ± 0.05	0.20 ± 0.05	1.40 ± 0.05	1.40 ± 0.05	0.00 ± 0.10
75 ± 1	1.30 ± 0.05	0.20 ± 0.05	1.40 ± 0.05	1.60 ± 0.05	0.10 ± 0.10
70 ± 1	1.30 ± 0.05	0.20 ± 0.05	1.20 ± 0.05	1.60 ± 0.05	0.21 ± 0.11
60 ± 1	1.25 ± 0.05	0.20 ± 0.05	1.00 ± 0.05	1.60 ± 0.05	0.33 ± 0.11
50 ± 1	1.20 ± 0.05	0.20 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.80 ± 0.05	0.48 ± 0.11
40 ± 1	1.15 ± 0.05	0.25 ± 0.05	0.70 ± 0.05	1.90 ± 0.05	0.60 ± 0.10
30 ± 1	1.15 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.60 ± 0.05	2.20 ± 0.05	0.71 ± 0.11
20 ± 1	1.15 ± 0.05	0.40 ± 0.05	0.50 ± 0.05	2.40 ± 0.05	0.75 ± 0.12
10 ± 1	1.15 ± 0.05	0.60 ± 0.05	0.40 ± 0.05	2.85 ± 0.05	0.79 ± 0.14
0 ± 1	1.15 ± 0.05	0.60 ± 0.05	0.40 ± 0.05	3.00 ± 0.05	0.81 ± 0.15
-10 ± 1	1.10 ± 0.05	0.80 ± 0.05	0.40 ± 0.05	3.20 ± 0.05	0.79 ± 0.15
-20 ± 1	1.10 ± 0.05	1.00 ± 0.05	0.60 ± 0.05	3.40 ± 0.05	0.70 ± 0.10

Табл. 1: Зависимость $V_3(\alpha)$

Построим теперь линеаризованный график этой зависимости:

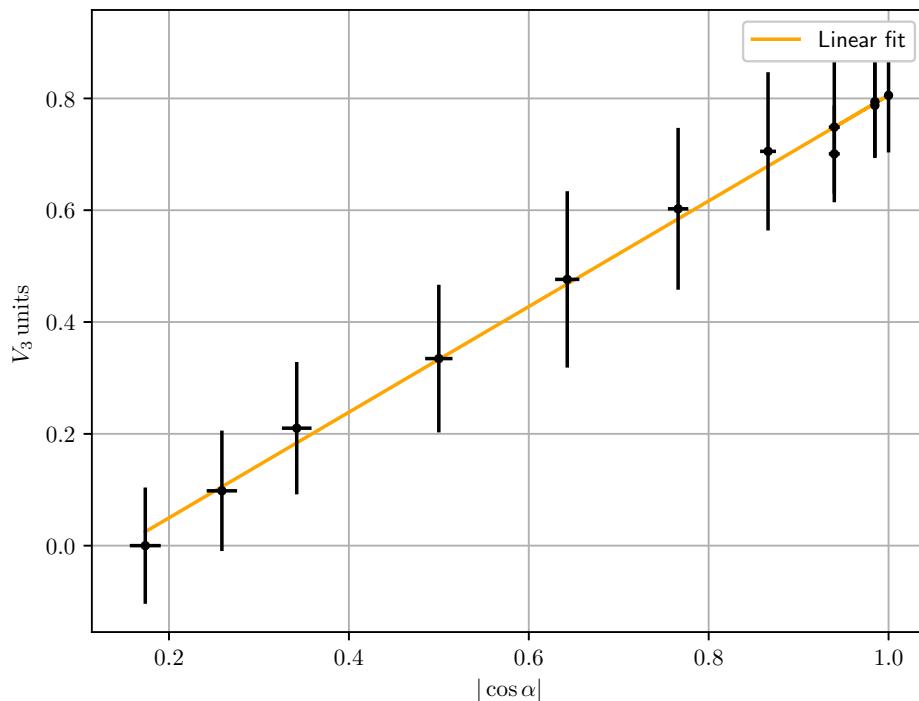


Рис. 8: График зависимости $V_3(|\cos \alpha|)$

Таким образом, убеждаемся в верности теоретического предположения.

3.3. Исследование зависимости видности от разности хода

Теперь исследуем зависимость видимости интерференционной картины от разности хода между лучами. Для этого будем перемещать блок B_2 вдоль направления распространения луча, координата блока x будет определять разность хода. Занесем данные в таблицу:

x , см	h_1 , дел	h_2 , дел	h_3 , дел	h_4 , дел	V_2 , ед
8 ± 0.5	1.10 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.00 ± 0.05	2.70 ± 0.05	0.46 ± 0.08
10 ± 0.5	0.65 ± 0.05	1.00 ± 0.05	0.60 ± 0.05	2.40 ± 0.05	0.61 ± 0.09
12 ± 0.5	1.10 ± 0.05	0.90 ± 0.05	0.60 ± 0.05	3.20 ± 0.05	0.69 ± 0.09
17 ± 0.5	0.80 ± 0.05	1.00 ± 0.05	0.40 ± 0.05	1.80 ± 0.05	0.85 ± 0.20
24 ± 0.5	1.00 ± 0.05	1.00 ± 0.05	1.00 ± 0.05	2.40 ± 0.05	0.41 ± 0.08
31 ± 0.5	1.20 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.90 ± 0.05	2.10 ± 0.05	0.05 ± 0.07
33 ± 0.5	1.70 ± 0.05	0.90 ± 0.05	2.40 ± 0.05	2.60 ± 0.05	0.04 ± 0.07
38 ± 0.5	1.20 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.30 ± 0.05	1.60 ± 0.05	0.10 ± 0.07
44 ± 0.5	2.20 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.80 ± 0.05	2.20 ± 0.05	0.11 ± 0.08
45 ± 0.5	1.85 ± 0.05	0.90 ± 0.05	2.20 ± 0.05	2.60 ± 0.05	0.09 ± 0.08
52 ± 0.5	1.80 ± 0.05	0.90 ± 0.05	2.40 ± 0.05	3.20 ± 0.05	0.15 ± 0.08
55 ± 0.5	1.10 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.80 ± 0.05	2.00 ± 0.05	0.05 ± 0.07
59 ± 0.5	2.10 ± 0.05	0.90 ± 0.05	2.60 ± 0.05	3.10 ± 0.05	0.10 ± 0.08
66 ± 0.5	2.00 ± 0.05	0.90 ± 0.05	2.60 ± 0.05	2.80 ± 0.05	0.04 ± 0.08
71 ± 0.5	2.10 ± 0.05	0.90 ± 0.05	2.20 ± 0.05	4.20 ± 0.05	0.34 ± 0.09
73 ± 0.5	2.30 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.80 ± 0.05	4.40 ± 0.05	0.47 ± 0.09
75 ± 0.5	1.60 ± 0.05	0.90 ± 0.05	1.00 ± 0.05	3.60 ± 0.05	0.59 ± 0.09
80 ± 0.5	1.40 ± 0.05	0.90 ± 0.05	0.60 ± 0.05	3.60 ± 0.05	0.73 ± 0.09

Табл. 2: Зависимость $V_2(x)$

Построим график данной зависимости:

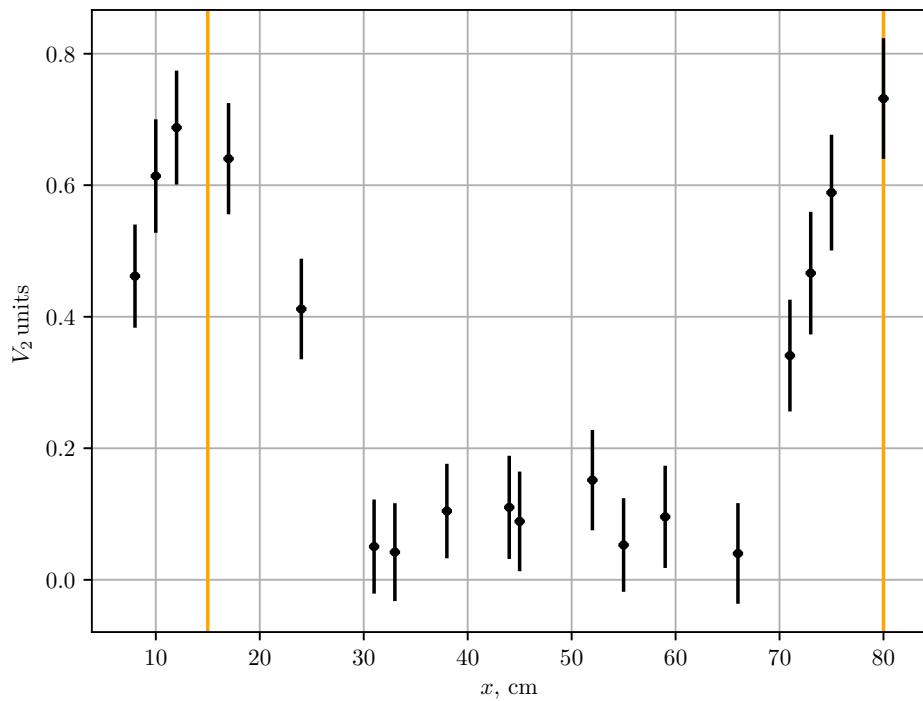


Рис. 9: График зависимости $V_2(x)$

Вертикальными линиями отмечены положения максимумов $x_1 = (15 \pm 1)$ см, $x_2 = (80 \pm 1)$ см. Тогда расстояние между зеркалами лазера:

$$L = \frac{x_2 - x_1}{2} = (32 \pm 1) \text{ см}$$

Межмодовое расстояние:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L} = (4.8 \pm 0.2) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

Полуширина кривой из графика:

$$l_{1/2} \approx 10 \pm 2 \text{ см}$$

Откуда получаем полную ширину спектра:

$$\Delta F = \frac{0.26c}{l_{1/2}} = (7.8 \pm 1.6) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

А число мод равно:

$$N = 1 + \frac{2\Delta F}{\Delta\nu} = 4 \pm 1$$

Из соотношения неопределенностей получим также длину когерентности:

$$L_c \sim \frac{c}{\Delta F} \sim 30 \text{ см}$$

4. Выводы

- Проверена теоретически предсказанная зависимость видности интерференционной картины от поляризации
- Проверена теоретически предсказанная зависимость видности интерференционной картины от разности хода
- Определено расстояние между зеркалами лазера:

$$L = (32 \pm 1) \text{ см}$$

- Определено межмодовое расстояние для используемого лазера:

$$\Delta\nu = (4.8 \pm 0.2) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

- Определена полная ширина спектра:

$$\Delta F = (7.8 \pm 1.6) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

- Оценено число мод излучения лазера:

$$N = 4 \pm 1$$

- Оценена длина когерентности лазерного излучения:

$$L_c \sim 30 \text{ см}$$