

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Факультет общей и прикладной физики

Лабораторная работа № 4.5.2
(Общая физика: оптика)

Интерференция лазерного излучения

Работу выполнил:
Иванов Кирилл, 625 группа

г. Долгопрудный
2018 год

Цель работы: исследование видности интерференционной картины излучения гелий-неонового лазера и определение длины когерентности излучения.

Оборудование: He – Ne-лазер, интерферометр Майкельсона с подвижным зеркалом, фотодиод с усилителем, осциллограф, поляроид, линейка.

1. Теоретическое введение

Важный параметр интерференционной картины — ее видимость:

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

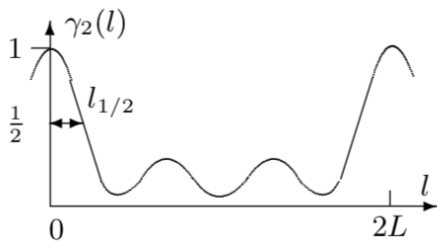
Удобно представлять видимость в виде произведения функций различных параметров установки/системы:

$$V = V_1 V_2 V_3 \quad (2)$$

Рассмотрим эти функции подробнее. Первая из них отвечает за отношение интенсивностей интерферирующих волн:

$$V_1 = \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}, \quad \delta = \frac{B_m^2}{A_m^2} \quad (3)$$

Здесь A_m, B_m — амплитуды волн. Вторая функция учитывает влияние разности хода и спектрального состава волн:



$$\gamma_2 = \frac{\sum_n A_n^2 \cos \frac{2\pi \Delta \nu n l}{c}}{\sum_n A_n^2} \sim e^{-(\pi \Delta F l / c^2)}$$

Рис. 1: Качественный график V_2

Здесь l — разность хода, $\Delta \nu$ — спектральный состав излучения, A_n^2 — интенсивность мод. Оценка приведена из перехода к непрерывному пределу. Последняя функция — зависимость от угла поляризации α :

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

2. Экспериментальная установка

2.1 Описание установки

Для получения интерференционной картины используется интерферометр Майкельсона, смонтированный на вертикально стоящей массивной металлической плите. Схема установки

приведена на рисунке.

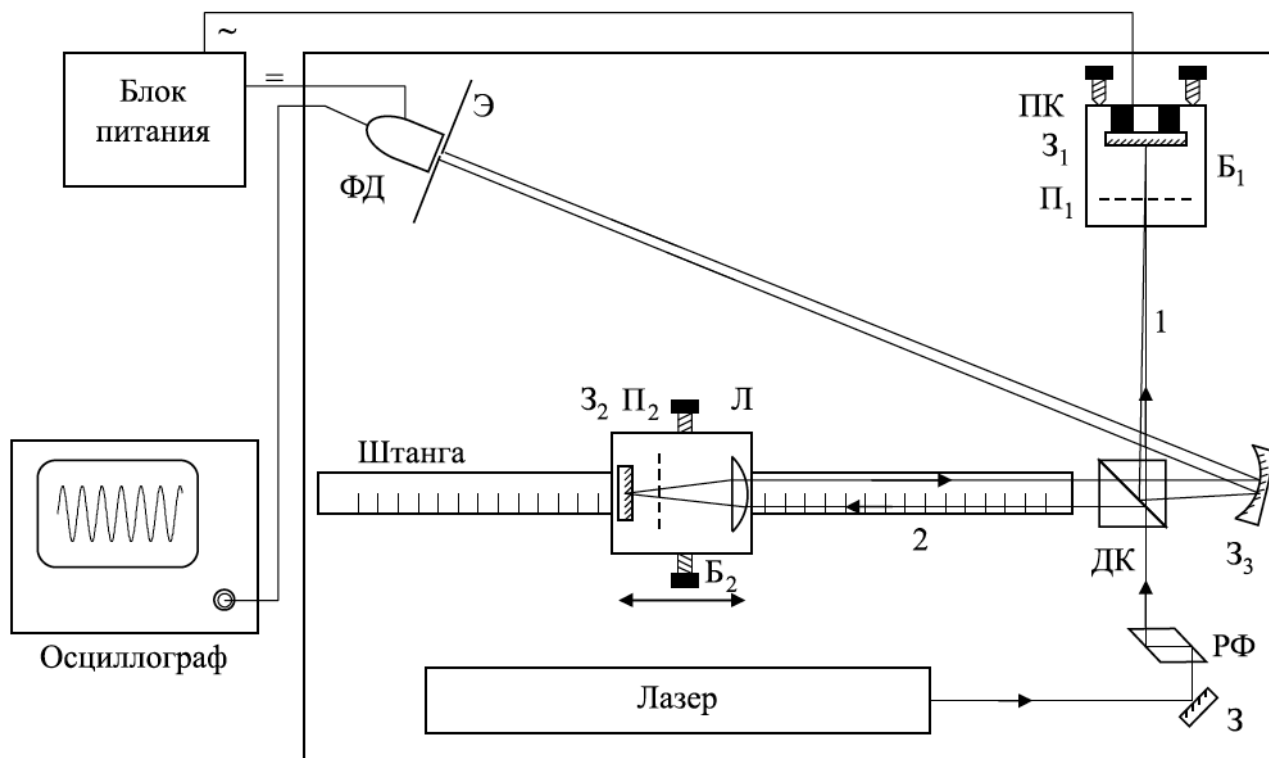


Схема установки. З, З₁, З₂, З₃ — зеркала. П₁ и П₂ — поляризаторы. Б₁ и Б₂ — блоки № 1 и 2. ДК — делительный кубик, РФ — ромб Френеля. ФД — фотодиод, Э — экран, ПК — пьезокерамика, Л — линза

Источником света служит гелий-неоновый лазер (средняя длина волны $\lambda_0 = 632,8$ нм). Пучок лазерного излучения отражается от зеркала З и проходит призму полного внутреннего отражения РФ (ромб Френеля), которая превращает линейную поляризацию излучения в круговую. Если в установке используется лазер, излучающий неполяризованный свет, то ромб Френеля не нужен, но он и не мешает выполнению работы. Далее лазерное излучение делится диагональной плоскостью делительного кубика ДК на два пучка.

Пучок 1 проходит поляризатор П₁, отражается под небольшим углом от зеркала З₁, снова проходит поляризатор П₁ и, частично отражаясь от диагональной плоскости делительного кубика, выходит из интерферометра, попадает на зеркало З₃ и далее на фотодиод ФД. Зеркало З₁ наклеено на пьезокерамику ПК, которая может осуществлять малые колебания зеркала вдоль направления распространения падающего пучка. Поляризатор и зеркало с пьезокерамикой собраны в единый блок Б₁, который крепится к вертикально стоящей плите. В блоке Б₁ имеются юстировочные винты, которые позволяют регулировать угол наклона зеркала З₁. В установке предусмотрена возможность вращения поляризатора П₁. Угол поворота отсчитывается по шкале, нанесённой на оправу поляризатора. Пучок 2 проходит линзу Л, поляризатор П₂, отражается от зеркала З₂, снова проходит поляризатор П₂, линзу Л и делительный кубик, выходит из интерферометра, попадает на зеркало З₃ и далее на фотодиод ФД. Таким образом, от зеркала З₃ под небольшим углом друг к другу идут на фотодиод два пучка, прошедшие разные плечи интерферометра. Между ними происходит интерференция и образуются интерференционные полосы. Линза Л, поляризатор П₂ и зеркало З₂ собраны в единый блок Б₂.

Зеркало Z_2 установлено в фокальной плоскости линзы Л. Это сделано для того, чтобы падающий и выходящий из блока B_2 пучки всегда были параллельны друг другу. Блок B_2 может перемещаться вдоль пучка 2 по штанге, жёстко связанной с плитой интерферометра. Длина штанги 90 см. В установке предусмотрена возможность небольшого поперечного перемещения блока B_2 , что позволяет регулировать расстояние между падающим и выходящим из блока пучками. При измерениях блок B_2 крепится к штанге при помощи двух винтов. Вдоль штанги нанесены деления через один сантиметр. При перемещении блока B_2 вдоль штанги на величину x_1 геометрическая разность хода между пучками 1 и 2 изменяется на величину $l = 2x_1$.

Сферическое зеркало Z_3 с небольшим фокусным расстоянием увеличивает картину интерференционных полос и позволяет наблюдать её на экране Э, расположенном в плоскости входного окна фотодиода. Свет попадает на фотодиод ФД через узкую щель в центре экрана. Щель ориентируется параллельно интерференционным полосам. Ширина щели меньше расстояния между полосами. Сигнал фотодиода усиливается и подаётся на вход осциллографа. Для питания усилителя сигнала фотодиода и управления пьезокерамикой используется блок питания БП.

На пьезокерамику подаётся напряжение с частотой 50 Гц. При этом её длина изменяется с частотой 100 Гц. Величина удлинения зависит от приложенного напряжения и регулируется ручкой «Качание» на блоке питания. Обычно удлинение составляет несколько длин волн света. На эту величину перемещается вдоль пучка 1 зеркало Z_1 . Интерференционная картина смещается на ширину полосы (одно колебание на экране осциллографа), если зеркало Z_1 смещается на $\lambda_0/2 \sim 0,3$ мкм. При измерениях через входную щель фотодиода последовательно проходит несколько полос интерференционной картины, а на экране осциллографа наблюдаются колебания с изменяющимся периодом.

2.2 Методика измерения

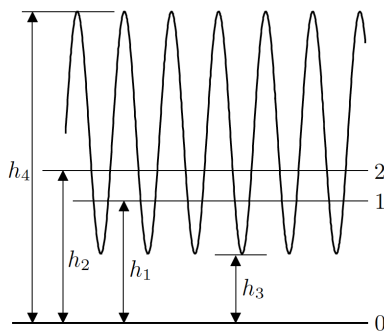


Рис. 2: Сигнал фотодиода на осциллографе

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). При этом параметр δ из (3), определяется отношением

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

Понятно, что из физического смысла, наша видимость рассчитывается очевидным образом, согласно формуле (1), так:

$$V = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \quad (4)$$

Отсюда, используя (2), мы можем получить наши функции из (4), фиксируя одну из них (т.е. беря равной единице). Так, при $\alpha = 0 \Rightarrow V_3 = 1$,

$$V_2(l) = \frac{V}{V_1} = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \cdot \frac{h_2}{h_1}$$

А приняв разность хода $l = 0 \Rightarrow V_2 = 0$, можно найти

$$V_3(\alpha) = \frac{V}{V_1} = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \cdot \frac{h_2}{h_1} \quad (5)$$

3. Ход работы

3.1 Изучение поляризации

Поворотами поляризатора Π_1 убедимся, что свет от лазера — поляризованный. Настроив поляроид на минимальную видимость и введя дополнительный поляроид, мы вновь получаем интерференционную картину при его поворотах. Так как картина изменится, получаем, что **поляризация — линейная или круговая**, а не хаотическая.

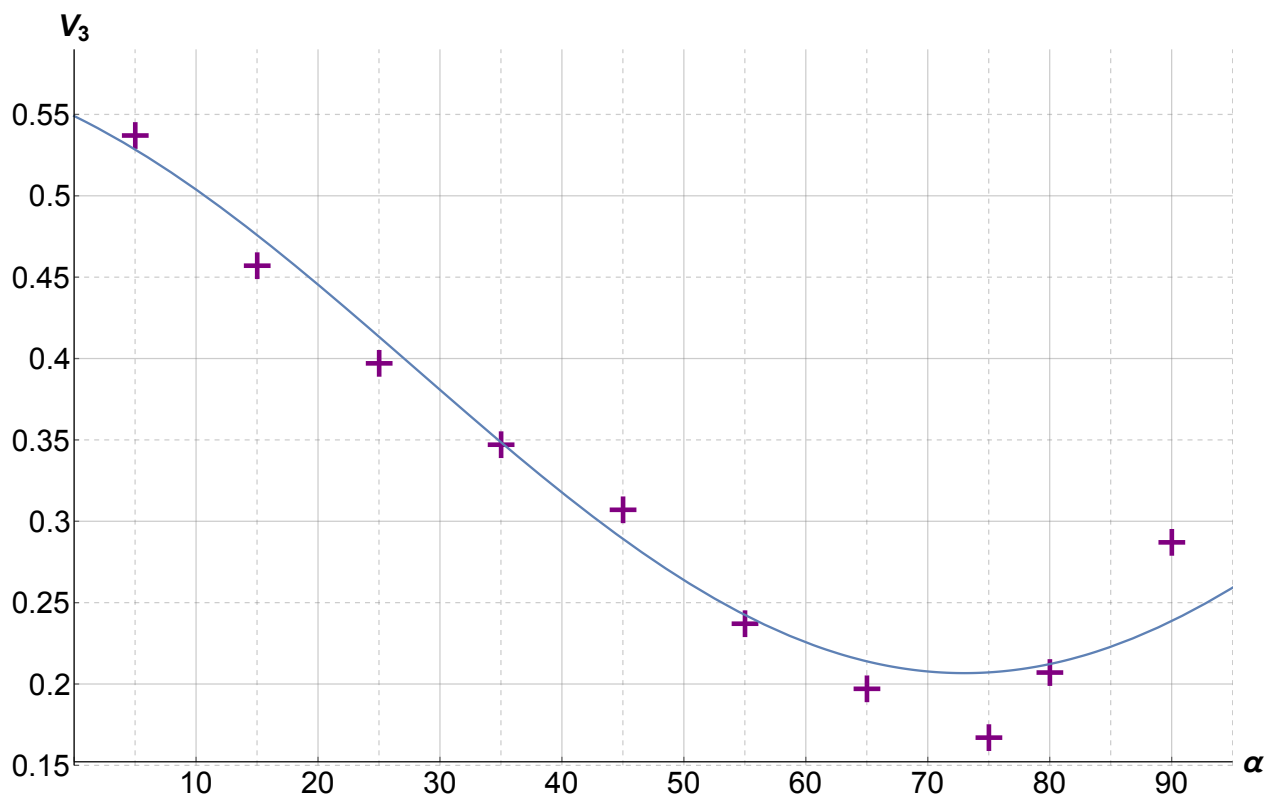
3.2 Измерение зависимости видности от угла

Исследуем зависимость видности интерференционной картины от угла β поворота поляроида Π_1 при нулевой разности хода ($V_2 = 1$). Для этого измерим величины h_1, h_2, h_3 и h_4 на экране осциллографа. Результаты занесем в таблицу и построим график согласно формуле (5). Значения для δ, V, V_1 получим из формул выше.

Таблица 1: Измерение зависимости видности от угла

α	h_4	h_3	h_2	h_1	V	δ	V_1	V_3
90	30	24	25	1	0.11	25	0.38	0.29
80	30	24	25	2	0.11	12.5	0.52	0.21
75	31	25	24	3	0.11	8	0.63	0.17
65	36	26	24	6	0.16	4	0.8	0.2
55	42	27	24	10	0.22	2.4	0.91	0.24
45	47	26	24	12	0.29	2	0.94	0.31
35	58	28	24	19	0.35	1.3	0.99	0.35
25	59	34	24	18	0.27	1.3	0.99	0.4
15	64	33	24	20	0.32	1.2	1	0.46
5	66	20	24	20	0.53	1.2	1	0.54

Из графика видно, что он приближается функцией $\cos^2\alpha$. Это значит, что его поляризация — круговая.

Рис. 3: Измерение зависимости видности V_3 от угла поляризации α