

## 4.5.2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**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.

### Теоретическая часть

Лазер - источник квазимонохроматического и узконаправленного высококогерентного потока излучения, работающий за счет эффекта вынужденного излучения. Главные элементы лазера - оптический резонатор и расположенная в нем активная среда. Время когерентности - время, на которое можно задержать пучок относительного другого, чтобы еще сохранялась способность к интерференции между ними. При геометрических задержках кратных удвоенной длине резонатора, интерференция пучков должна восстанавливаться.

Важный параметр интерференционной картины — ее видность:

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

Представлять видность удобно как произведение функций различных параметров установки/системы:

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}_1 \mathcal{V}_2 \mathcal{V}_3 \quad (2)$$

$\mathcal{V}_1$  отвечает за отношение интенсивностей интерферирующих волн:

$$\mathcal{V}_1 = \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}, \quad \delta = \frac{B_m^2}{A_m^2}, \quad (3)$$

где  $A_m, B_m$  — амплитуды волн.

$\mathcal{V}_2$  учитывает влияние разности хода и спектрального состава волн:

$$\mathcal{V}_2 = \left| \frac{1 \sin \frac{\pi l}{2L} n}{n \sin \frac{\pi l}{2L}} \right|, \quad (4)$$

где  $l$  — разность хода,  $L$  — расстояние между зеркалами.

$\mathcal{V}_3$  учитывает влияние различности поляризации волн. Если волны поляризованы линейно, то выражение для видности будет иметь следующий вид

$$\mathcal{V}_3 = |\cos \alpha|, \quad (5)$$

если же волны имеют линейную поляризацию, но направление поляризации хаотически меняется от 0 до  $\pi$ , то можно получить:

$$\mathcal{V}_3 = |\cos^2 \alpha|, \quad (6)$$

где  $\alpha$  — угол между плоскостями поляризации

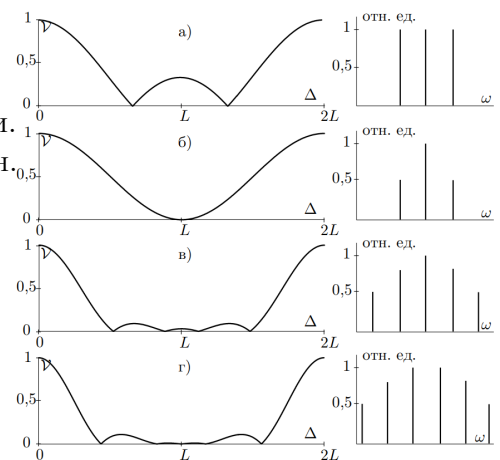


Рис. 1: Зависимость видности от задержки для разного количества мод

## Экспериментальная установка

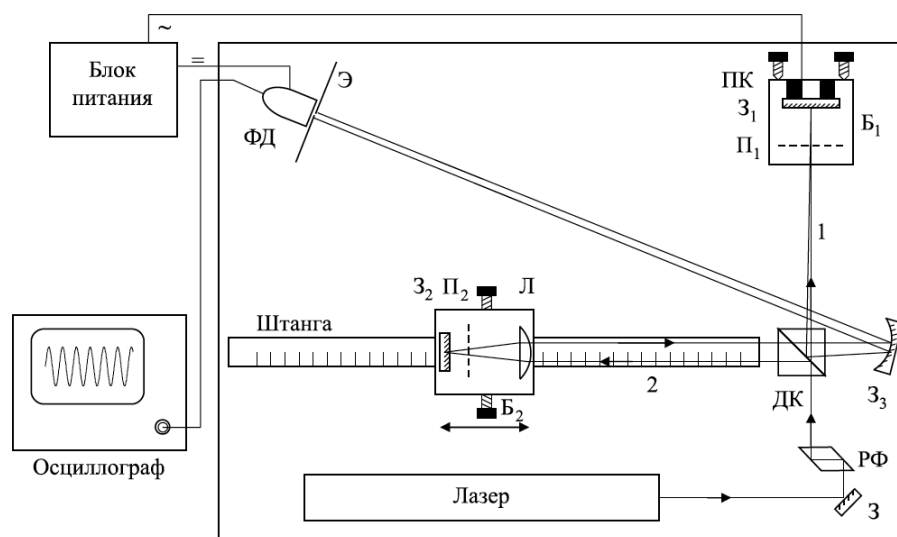


Схема установки. З, З<sub>1</sub>, З<sub>2</sub>, З<sub>3</sub> — зеркала. П<sub>1</sub> и П<sub>2</sub> — поляризаторы. Б<sub>1</sub> и Б<sub>2</sub> — блоки № 1 и 2. ДК — делительный кубик, РФ — ромб Френеля. ФД — фотодиод, Э — экран, ПК — пьезокерамика, Л — линза

Рис. 2: Экспериментальная установка

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 П<sub>1</sub>, отражается под небольшим углом от зеркала З<sub>1</sub>, снова проходит поляризатор П<sub>1</sub>, и частично отражаясь от диагональной плоскости делительного кубика, выходит из интерферометра, попадает на зеркало З<sub>3</sub> и далее на фотодиод ФД. Зеркало З<sub>1</sub> наклеено на пьезокерамику ПК, которая может осуществлять малые колебания зеркала вдоль направления распространения падающего пучка. Поляризатор и зеркало с пьезокерамикой собраны в единый блок Б<sub>1</sub>, который крепится к вертикально стоящей плите. В блоке Б<sub>1</sub> имеются юстировочные винты, которые позволяют регулировать угол наклона зеркала З<sub>1</sub>. В установке предусмотрена возможность вращения поляриоида П<sub>1</sub>. Угол поворота отсчитывается по шкале, нанесённой на оправу поляриоида. Пучок 2 проходит линзу Л, поляризатор П<sub>2</sub>, отражается от зеркала З<sub>2</sub>, снова проходит поляризатор П<sub>2</sub>, линзу Л и делительный кубик, выходит из интерферометра, попадает на зеркало З<sub>3</sub> и далее на фотодиод ФД. Таким образом, от зеркала З<sub>3</sub> 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 П<sub>2</sub> и зеркало З<sub>2</sub> собраны в единый блок Б<sub>2</sub>.

Зеркало З<sub>2</sub> установлено в фокальной плоскости линзы Л. Это сделано для того, чтобы падающий и выходящий из блока Б<sub>2</sub> пучки всегда были параллельны друг другу. Блок Б<sub>2</sub> может перемещаться вдоль пучка 2 по штанге, жёстко связанной с плитой интерферометра. Длина штанги 90 см. В установке предусмотрена возможность небольшого поперечного перемещения блока Б<sub>2</sub>, что позволяет регулировать расстояние между падающим и выходящим из блока пучками. При измерениях блок Б<sub>2</sub> крепится к штанге при помощи

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

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

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  $\mathcal{E}$ , расположенном в плоскости входного окна фотодиода. Свет попадает на фотодиод  $\Phi Д$  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.

## Выводы

- Зависимость видности от угла поворота поляроида похожа на  $\cos^2$  (см рис. ??), то есть свет поляризован линейно, но направление поляризации изменяется от 0 до  $\pi$
- Получена оценка для расстояния между зеркалами (рис. ??):

$$L \approx (32 \pm 2) \text{ см}$$

и межмодового расстояния

$$\Delta\nu \approx (4.0 \pm 0.3) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

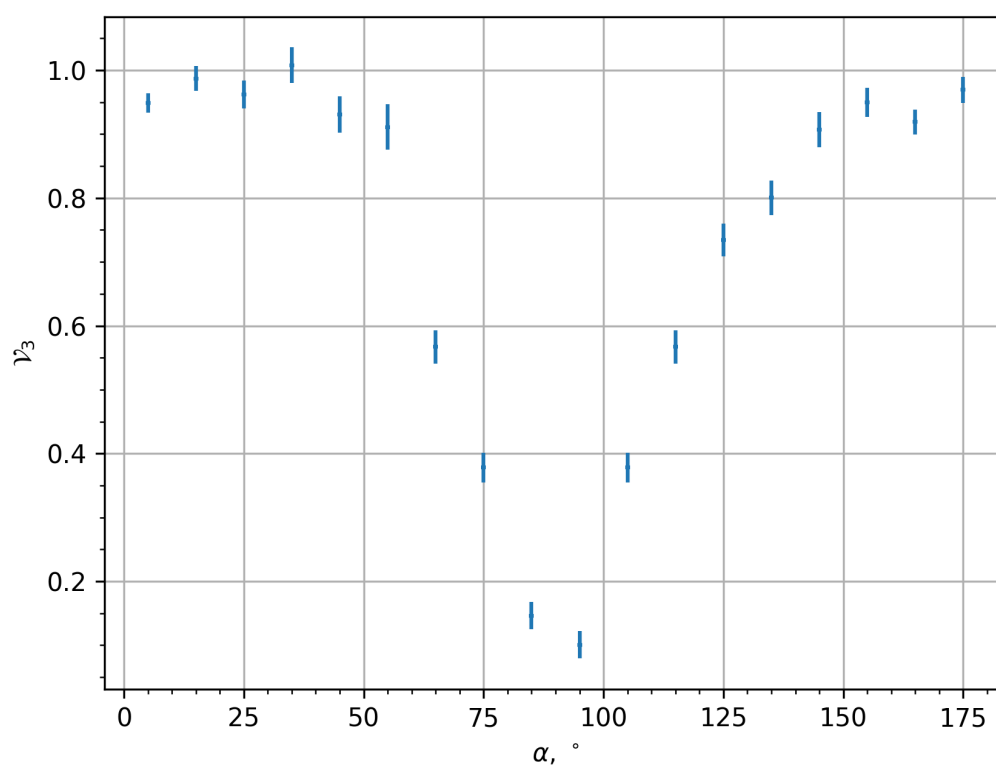


Рис. 3: График зависимости видности от угла поворота поляроида П1

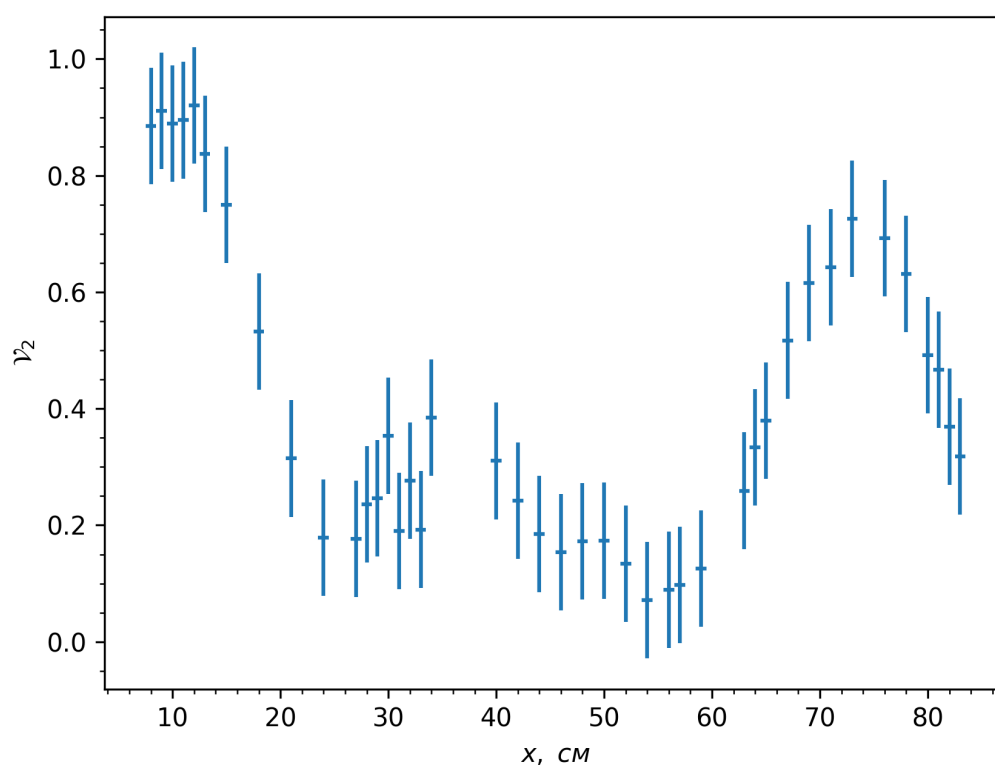


Рис. 4: График зависимости видности от координаты блока Б2