

# Работа 4.5.2

## Интерференция лазерного излучения

Московский физико-технический институт  
Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий

4 марта 2024 г.



# Содержание работы

- 1 Цели работы
- 2 Оборудование
- 3 Теоретические сведения
- 4 Экспериментальная установка
- 5 Измерения и обработка результатов
- 6 Заключение. Выводы
- 7 Список литературы

# Цели работы

- Исследование видности интерференционной картины излучения гелий-неонового лазера от разности хода интерферирующих лучей и от их поляризации
- Определение длины когерентности излучения

# Оборудование

- He–Ne-лазер
- интерферометр Майкельсона с подвижным зеркалом
- фотодиод с усилителем
- осциллограф
- поляроид
- линейка

# Теория. 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

$$f_m = \frac{c}{\lambda_m} = \frac{mc}{2L} \quad (1)$$

Расстояние между модами (волнами разной частоты)

$$\Delta\nu_m = f_{m+1} - f_m = \frac{c}{2L}. \quad (2)$$

Число мод можно оценить как

$$N \approx 1 + \frac{2\Delta F}{\Delta\nu}. \quad (3)$$

# Теория. Видность $\gamma$

**Видность** определяется как

$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}. \quad (4)$$

причём при

- $\gamma = 0$  интерференционная картина полностью исчезает
- $\gamma = 1$  интерференционная картина наиболее чёткая

Видность можно разложить на 3 составляющие:

- $\gamma_1$  – соотношение амплитуд интерферирующих волн
- $\gamma_2$  – влияние оптической разности хода
- $\gamma_3$  – различие поляризаций интерферирующих пучков

# Теория. Видность $\gamma_1$

Пусть частота моды лазерного излучения равна  $f_m$  и в плоскость излучения интерферируют две волны с амплитудами  $A_m$  и  $B_m$ . Разность их хода равна  $l$ , тогда интенсивность света в точке равна

$$I_m = A_m^2 + B_m^2 + 2A_mB_m\cos(k_m l), \quad (5)$$

Введём параметр  $\delta = \frac{B_m}{A_m}$ , тогда из (4) и (5) следует, что видность, отвечающая за соотношение интенсивности интерферирующих волн

$$\gamma_1 = \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta} \quad (6)$$

# Теория. Видность $\gamma_2$

- Пусть лазерное излучение состоит из нескольких мод.

- Без учёта межмодовых биений интенсивность света

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

- Пусть частота наиболее интенсивной моды совпадает с центром доплеровского контура  $f_0$ , тогда

$$f_m = f_0 + n\Delta\nu; A_n^2 = A_{-n}^2; n = 0; \pm 1, \pm 2, \dots$$

- Перепишем уравнение для интенсивности:

$$I = \sum_m A_m^2 \left[ 1 + \delta + 2\sqrt{\delta} \cos\left(\frac{2\pi f_0 l}{c}\right) \cos\left(\frac{2\pi \Delta\nu n l}{c}\right) \right] \quad (7)$$

- Поскольку разность хода практически не меняется, то максимум интерференционной картины при  $\cos\left(\frac{2\pi \Delta\nu n l}{c}\right) = 1$  и минимум при  $\cos\left(\frac{2\pi \Delta\nu n l}{c}\right) = -1$



## Теория. Видность $\gamma_2$

Тогда видность  $\gamma = \gamma_1 \gamma_2$ , где

$$\gamma_2 = \frac{\sum_m A_m^2 \cos \frac{2\pi \Delta \nu m l}{c}}{\sum_m A_m^2} \quad (8)$$

•  $\gamma_2$  отвечает за влияние разности хода и спектрального состава волн. В непрерывном пределе для  $\gamma_2$  получим зависимость  $\gamma_2 = \gamma_2(l)$  с полушириной, при которой видность падает вдвое,

$$l_{1/2} = \frac{c}{\pi \Delta F} \sqrt{\ln 2} \approx \frac{0.26c}{\Delta F}. \quad (9)$$

Тогда из (2), (3), (9) полное число мод  $n$  и полная ширина спектра  $\Delta \nu$  оцениваются (более подробно см. [1]) как:

$$n \approx 1 + \frac{1.2L}{l_{1/2}} \quad \Delta \nu_{\text{полн}} \approx \frac{0.6c}{l_{1/2}} \quad (10)$$

## Теория. Видность $\gamma_3$ .

- Предположим теперь, что поляризациях в волнах различна. Тогда интерферируют компоненты только с одинаковой поляризацией
- Если обе волны линейно поляризованы, а угол между плоскостями их поляризации равен  $\alpha$ , то

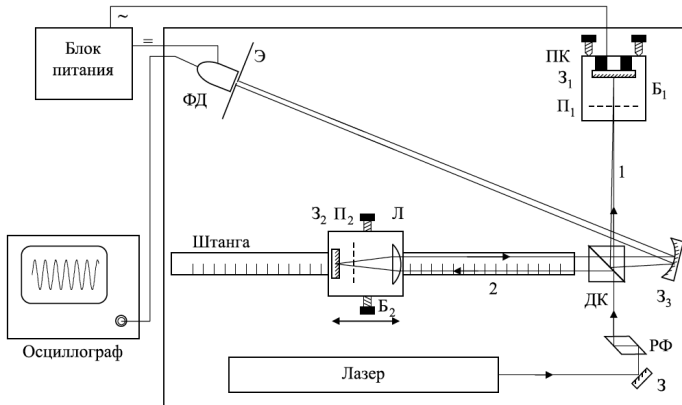
$$I_m = A_m^2 + B_m^2 + 2A_mB_m\cos(k_m l)\cos(\alpha)$$

- При равных амплитудах интерферирующих волн этот множитель  $\cos\alpha$  имеет смысл видности, обусловленной разной поляризацией волн

$$\gamma_3 = \cos(\alpha)$$

- Если есть источник излучение с линейной поляризацией, направление которой меняется хаотично от 0 до  $\pi$ , то разделив излучение на два пучка, между которыми угол будет  $\alpha$ , получим

$$\gamma_3 = \cos^2(\alpha) \quad (11)$$



◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡

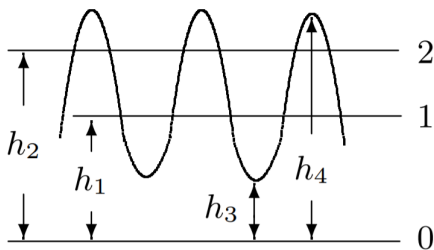
# Фото экспериментальной установки



Рисунок: Фотография юстированной установки

# Измерение видности с помощью осциллографа

- На осциллографе видны колебания из-за вибрирующей пьезокермики. Её длина меняется вследствие наличия на ней напряжение. Линия 0 – фоновая засветка,  $h_1, h_2$  – интенсивность света каждого из пучков,  $h_3, h_4$  – минимум и максимум интерференционной картины



- Параметр  $\delta$  для расчёта  $\gamma_1$ :

$$\delta = \frac{h_1}{h_2} \quad (12)$$

- Видность интерференционной картины:

$$\gamma = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3} \quad (13)$$

Рисунок: Осциллограмма сигнала фотодиода

# Измерение видности от угла поворота поляроида

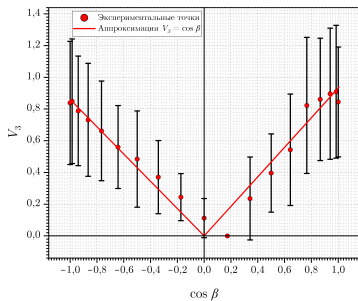


Рисунок: Зависимость  $V_3(\cos \beta)$

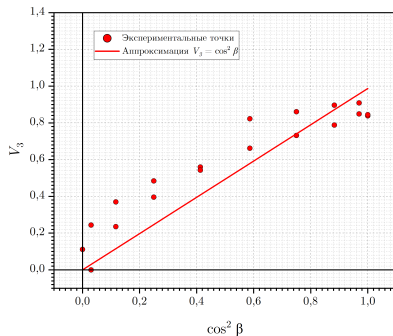


Рисунок: Зависимость  $V_3(\cos^2 \beta)$

# Измерение видности от угла поворота поляроида

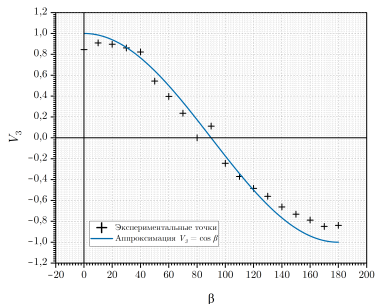


Рисунок: Зависимость  $V_3 = \cos \beta$

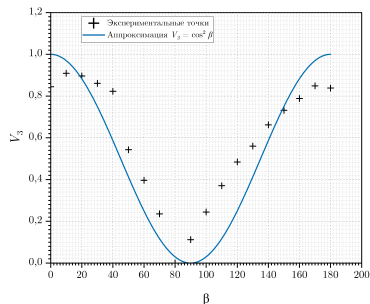


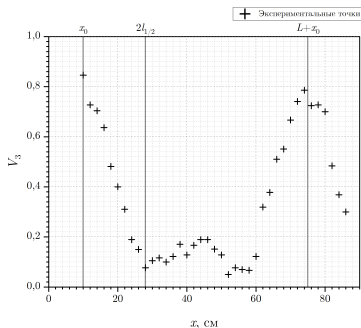
Рисунок: Зависимость  $V_3 = \cos^2 \beta$

# Анализ зависимости видности от угла поворота поляроида

- Полученные данные лучше всего аппроксимировать функцией  $V_3 = \cos \beta$
- Отсюда следует, что **поляризация – линейная**, амплитуды волн не флуктуируют, а угол между плоскостями их поляризаций равен  $\beta$



# Измерение видности от дальности хода



**Рисунок:** Зависимость  $V_2(x)$  от координаты блока  $B_2$

- $L = (65 \pm 2)$  см – расстояние между зеркалами оптического резонатора лазера
- $\Delta\nu_m = \frac{c}{2L} \sim 2 \cdot 10^8$  Гц – межмодовое расстояние
- $2l_{1/2} = (28 \pm 2)$  см – задержка на половине высоты главного максимума
- $\Delta F \approx 0.6 \frac{c}{l_{1/2}} = 10^9$  Гц – диапазон генерации продольных мод
- $n \approx 1 + 1.2 \frac{L}{l_{1/2}} \approx 7$  – число мод

# Заклучение

- В результате выполнения работы было исследовано влияние немонахроматичности света на видность интерференционной картины. Во время выполнения этой части работы было установлено, что поляризация излучения – **линейная**
- Во второй части работы было найдено межмодовое расстояние  $\Delta\nu_m = 2 \cdot 10^8$  Гц ( $\Delta\nu_m^{\text{табл}} = 10^8$  Гц) и число генерируемых лазером продольных мод  $n \approx 7$  ( $n^{\text{табл}} = 3 - 7$ )
- Основной вклад в погрешность внесло измерение с помощью осциллографа интенсивности интерференционной картины и фоновой засветки

# Список литературы

- [1] под ред. А.В. Максимычева. *Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика.* МФТИ, 2014. ISBN: 978-5-7417-0507-0.