

# Амплитудная дифракционная решётка. Работа 4.4.1

Каспаров Николай, Б01-304

March 1, 2025

**Цель работы:** исследовать зависимость видности интерференционной картины от разности хода интерферирующих лучей и от их поляризации.

**В работе используются:** He-Ne лазер, интерферометр Майкельсона с подвижным зеркалом, фотодиод с усилителем, осциллограф С1-76, поляроид, линейка.

## Теория

### Гелий-неоновый лазер

Лазер представляет собой интерферометр Фабри–Перо – газовую трубку с двумя параллельными зеркалами. Для лазера длиной  $L$  резонансные частоты удовлетворяют условию

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

Условие генерации может выполняться для нескольких колебаний с частотами  $f_m$ , расположенными в диапазоне генерации  $2\Delta F$ . При этом генерируются сразу несколько волн – *модов*, межмодовое расстояние которых определяется формулой

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

Число мод можно оценить по соотношению

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

### Видимость

Видимость интерференционной картины определяется выражением

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

где  $I_{max}$  и  $I_{min}$  – максимальная и минимальная интенсивности вблизи выбранной точки. Видимость можно представить в виде произведения трёх функций, зависящих от параметров установки:

$$\gamma = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3.$$

Функция  $\gamma_1$  учитывает соотношение интенсивностей интерферирующих лучей:

$$\gamma_1 = \frac{2\sqrt{\delta}}{1 + \delta}, \quad (5)$$

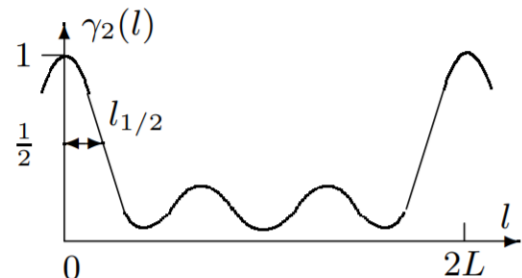
где  $\delta = \frac{B_m^2}{A_m^2}$ , а  $A_m$  и  $B_m$  – амплитуды лучей, определяемые устройством разделения света.

Функция  $\gamma_2$  описывает влияние разности хода и спектрального состава излучения:

$$\gamma_2 = \frac{\sum_n A_n^2 \cos \frac{2\pi \Delta\nu n l}{c}}{\sum_n A_n^2},$$

где  $l$  – разность хода,  $\Delta\nu$  – межмодовое расстояние,  $A_n^2$  – интенсивности мод. В непрерывном пределе для гауссовой линии излучения с полушириной  $\Delta F$  получаем

$$\gamma_2 = e^{-\left(\frac{\pi \Delta F l}{c}\right)^2},$$



при этом полуширина зависимости определяется выражением

$$l_{1/2} = \frac{c}{\pi \Delta F} \sqrt{\ln 2} \approx \frac{0.26c}{\Delta F}. \quad (6)$$

Функция  $\gamma_3$  учитывает разность в поляризации лучей:

$$\gamma_3 = |\cos \alpha|, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол между плоскостями поляризаций.

## 1 Ход работы

### 1.1 Измерение видности при нулевой разности хода ( $\mathcal{V}_2 = 1$ )

При установке нулевой разности хода (при плече  $L = 16$  см) измеряются величины  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  и  $h_4$  на экране осциллографа при изменении угла поляризации от  $\beta = 0^\circ$  до  $\beta = 180^\circ$ . Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1: Измерение видности при нулевой разности хода

Угол ( $^\circ$ )	0	30	50	70	90	110	130	150	180
$h_1$	1.0	1.5	1.5	1.6	1.2	0.7	0.5	1.1	1.2
$h_2$	1.6	1.6	1.7	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.6
$h_3$	0.9	1.0	1.4	3.4	3.5	2.8	3.2	2.7	1.0
$h_4$	4.2	5.1	4.8	6.2	5.7	5.1	4.4	6.0	4.7

На основе измеренных значений вычисляется  $\mathcal{V}_3$  для каждого случая, после чего строится график зависимости от  $\beta$  и проводится сравнение с теоретическими зависимостями  $\mathcal{V}_3 = \cos \beta$  и  $\mathcal{V}_3 = \cos^2 \beta$ . Из-за высокой погрешности измерений график  $\mathcal{V}_3(\beta)$ , по-видимому, ближе к зависимости  $\cos \beta$ , что указывает на линейную поляризацию излучения.

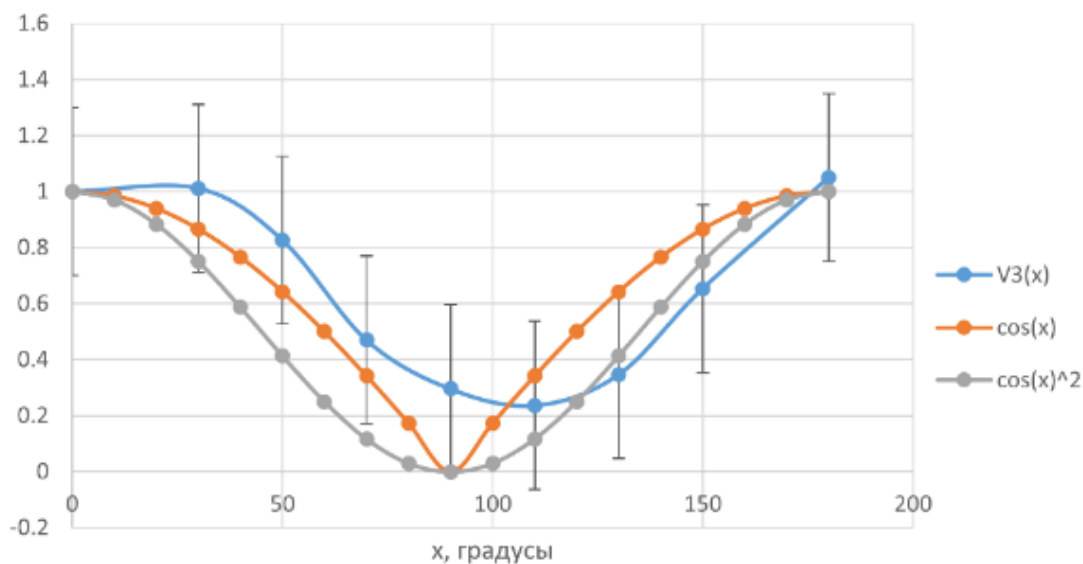


Рисунок 2: Зависимость  $\mathcal{V}_3(\beta)$

### 1.2 Измерение видности при постоянном угле поляризации

При установке оптимального угла поляризации, обеспечивающего максимальную видность, перемещается блок 2, изменяя разность хода  $x$ . Аналогичным образом измеряются величины  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  и  $h_4$  на экране осциллографа. Результаты фиксируются в таблице, а затем строится график зависимости  $\mathcal{V}_2$  от  $L$ . Параметры  $\delta$ ,  $\mathcal{V}$  и  $\mathcal{V}_1$  вычисляются по приведённым выше формулам.

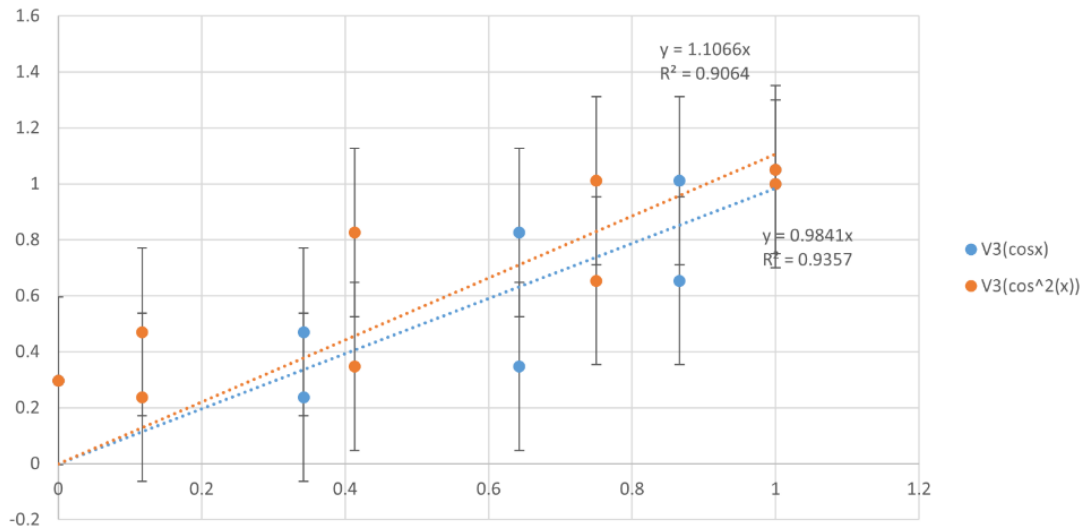


Рисунок 3: Зависимость  $\mathcal{V}_3(\beta)$

Таблица 2: Измерение видности при постоянном угле поляризации

L (см)	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$\mathcal{V}$	$\delta$	$\mathcal{V}_1$	$\mathcal{V}_2$
89	0.8	0.6	1	2	0.33	1.33	0.99	0.34
78.5	1	1.2	0.9	3.6	0.60	0.83	1.00	0.60
84	0.8	1	0.8	3	0.58	0.80	0.99	0.58
82	0.8	1	0.6	3	0.67	0.80	0.99	0.67
81	0.8	1.2	0.7	3.5	0.67	0.67	0.98	0.68
80	0.8	1.4	0.8	3.8	0.65	0.57	0.96	0.68
79	0.8	1.2	0.7	3.2	0.64	0.67	0.98	0.65
78	0.8	0.8	0.6	2.8	0.65	1.00	1.00	0.65
76	0.8	0.6	0.6	2.4	0.60	1.33	0.99	0.61
73	0.4	0.3	0.4	1.2	0.50	1.33	0.99	0.51
70	0.4	0.5	0.7	1.4	0.33	0.80	0.99	0.34
65	0.4	0.4	0.8	1	0.11	1.00	1.00	0.11
58	1	1	1.8	2.1	0.08	1.00	1.00	0.08
51	1	1.4	2	2.9	0.18	0.71	0.99	0.19
45	1	1.4	1.8	3	0.25	0.71	0.99	0.25
40	1	0.7	1.6	1.8	0.06	1.43	0.98	0.06
35	1	1.3	2	2.2	0.05	0.77	0.99	0.05
30	1	1	1.8	2.4	0.14	1.00	1.00	0.14
25	1	0.9	1.2	2.6	0.37	1.11	1.00	0.37
20	1	1	0.7	2.2	0.52	1.00	1.00	0.52
18	1	0.2	0.6	1.8	0.50	5.00	0.75	0.67
17	1	0.4	0.4	1.2	0.50	2.50	0.90	0.55
16	1	0.4	0.5	1.2	0.41	2.50	0.90	0.46
15	1	0.2	0.5	1.9	0.58	5.00	0.75	0.78
13	1	0.3	0.6	1.2	0.33	3.33	0.84	0.40
10	1	0.4	0.7	1	0.18	2.50	0.90	0.20
8	1	0.2	0.8	1.6	0.33	5.00	0.75	0.45

Построение графика зависимости  $\mathcal{V}_2$  от  $L$  позволяет сопоставить экспериментальные данные с теоретическими моделями.

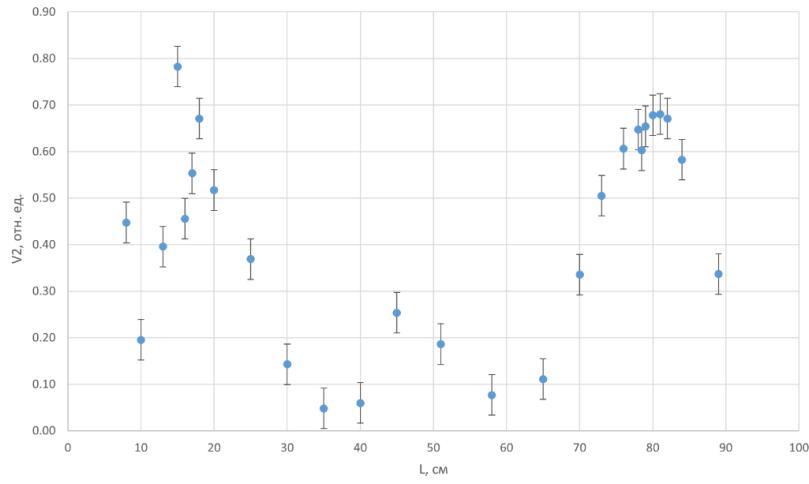


Рисунок 4: Зависимость  $\mathcal{V}_2$  от  $L$

Для определения конфигурации лазера экспериментальные данные сопоставляются с теоретическими зависимостями.

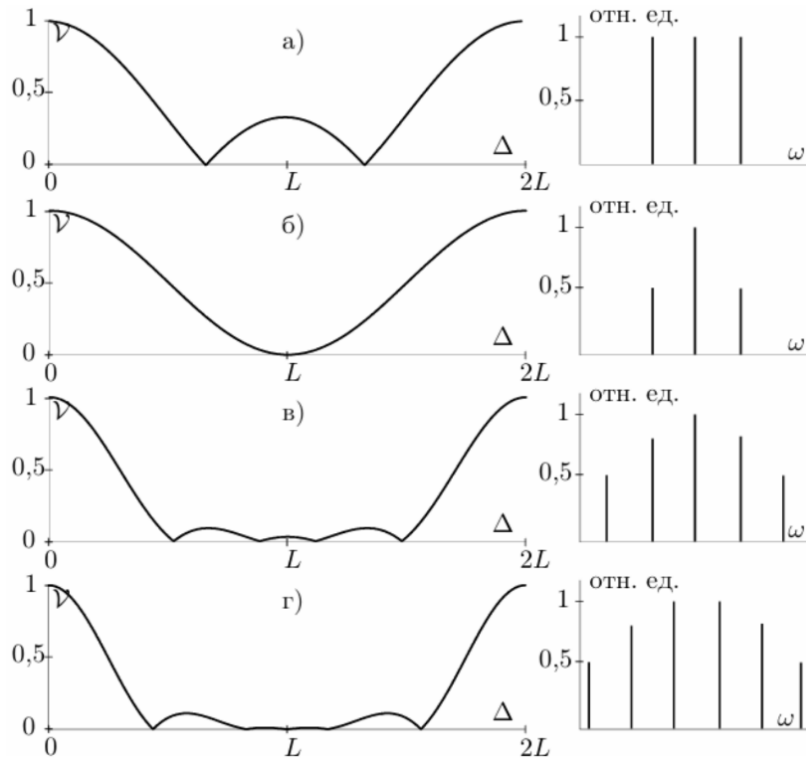


Рисунок 5: Зависимость  $\mathcal{V}_2$  от  $L$

Согласно теории, разность

$$\Delta_2 - \Delta_1 = 2L_0,$$

где  $L_0$  — расстояние между зеркалами оптического резонатора лазера. Таким образом,

$$L_0 = (66 \pm 4) \text{ см.}$$

Межмодовое расстояние определяется как

$$\Delta\nu_m = \frac{c}{2L} = (2.27 \pm 0.14) \cdot 10^8 \text{ Гц,}$$

а полуширина кривой из графика:

$$l_{1/2} = (10 \pm 3) \text{ см,}$$

что соответствует разности хода

$$\Delta_{l1/2} = 2l_{1/2} = (20 \pm 6) \text{ см.}$$

Наконец, вычислен диапазон частот генерации мод:

$$\Delta F = (9.0 \pm 2.7) \cdot 10^8 \text{ Гц},$$

а число генерируемых лазером мод:

$$n = (5 \pm 2).$$

## 2 Вывод

Проведённый эксперимент позволил определить спектральные характеристики амплитудной дифракционной решётки, а также оценить угловую дисперсию и разрешающую способность лазерного прибора. В результате были получены следующие значения: расстояние между зеркалами резонатора  $L_0 = (66 \pm 4)$  см, межмодовое расстояние  $\Delta \nu_m = (2.27 \pm 0.14) \cdot 10^8$  Гц, диапазон частот генерации мод  $\Delta F = (9.0 \pm 2.7) \cdot 10^8$  Гц и число генерируемых мод  $n = (5 \pm 2)$ . Анализ зависимости видности интерференционной картины от разности хода и поляризации подтвердил, что лазерное излучение имеет линейную поляризацию. Экспериментальные результаты согласуются с теоретическими расчётами, что свидетельствует о корректности используемых моделей, а дальнейшее улучшение точности измерений позволит уточнить полученные значения.