

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.5.2

# Интерференция лазерного излучения

Б03-102

Куланов Александр

Долгопрудный, 2023 г.

- **Цель работы:** исследовать зависимость видности интерференционной картины от разности хода интерферирующих лучей и от их поляризации
- **В работе используются:** гелий-неоновый лазер, интерферометр Майкельсона с подвижным зеркалом, фотодиод с усилителем, осциллограф, поляроид, линейка

## 1 Экспериментальная установка

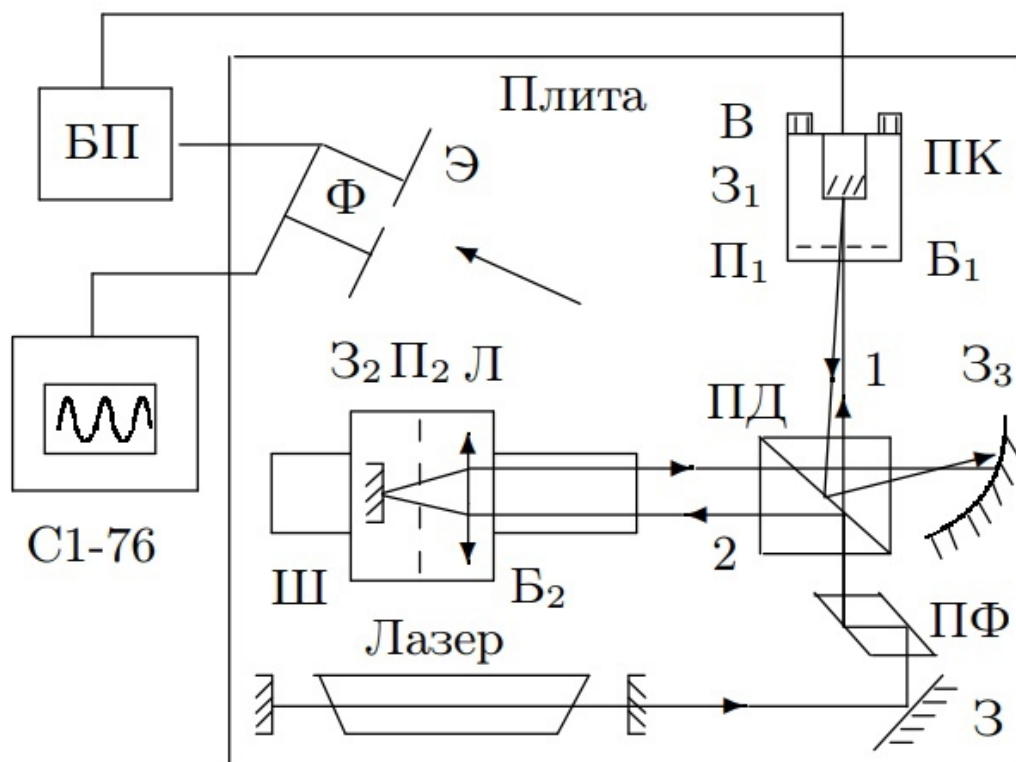


Рис. 1: Схема установки

Для получения интерференционной картины используется интерферометр Майкельсона, смонтированный на вертикально стоящей металлической плите. Источник света - гелий-неоновый лазер. Луч лазера отражается от зеркала З и проходит призму полного внутреннего отражения ПФ, на выходе из которой он имеет поляризацию, близкую к круговой. Далее луч света делится диагональной плоскостью ПД на два луча.

Луч 1 проходит поляроид П1, отражается под небольшим углом от зеркала З1, снова проходит поляроид П1, и, частично отражаясь от диагональной плоскости делительной призмы, выходит из интерферометра. Зеркало З1 наклеено на пьезокерамику ПК, которая может осуществлять малые колебания. Поляроид и зеркало с пьезокерамикой собраны в единой блок ББ1, который крепится к вертикально стоящей плите. В блоке Б1 имеются юстировочные винты В, которые позволяют регулировать угол наклона зеркала З1. В установке предусмотрена возможность вращения поляроида П1 вокруг луча 1. Угол поворота отсчитывается по шкале, нанесенной на оправу поляроида.

Луч 2 проходит линзу Л, поляроид П2, отражается от зеркала З2, снова П2, линзу Л и частично выводится делительной призмой из интерферометра. Зеркало З2 установлено в фокальной плоскости линзы Л. Это сделано для того, чтобы падающий и выходящий лучи всегда были параллельны друг другу. Линза Л, поляроид П2 и зеркало З2 собраны в блок Б2. Этот блок может перемещаться вдоль штанги Ш, жестко связанной с плитой интерферометра. Длина штанги 90 см. В установке предусмотрена возможность небольшого перемещения блока Б2 перпендикулярно лучу, что позволяет регулировать расстояние между падающим и выходящим из блока лучами. При измерениях блок Б2 крепится к штанге при помощи двух винтов. Вдоль штанги нанесены деления через один см. При перемещении блока Б2 на  $L$ , разность хода между лучами 1 и 2 изменяется на  $2L$ .

Лучи 1 и 2 накладываются друг на друга и интерферируют вблизи задней грани делительной призмы ПД. Сферическое зеркало З3 с небольшим фокусным расстоянием увеличивает картину. Интенсивность света регистрируется фотодиодом Ф. Сигнал с него усиливается и подается на вход осциллографа.

## 2 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

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

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

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

Число мод можно оценить как

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

### Видимость

Видимость интерференционной картины – параметр, определяемый формулой

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

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

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

Здесь  $\gamma_1$  отвечает за соотношение интенсивности интерферирующих волн:

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

где  $\delta = \frac{B_m^2}{A_m^2}$ ,  $A_m$  и  $B_m$  – амплитуды волн. Параметр  $\delta$  определяется устройством разделения волн.

Функция  $\gamma_2$  отвечает за влияние разности хода и спектрального состава волн,

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

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

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

– для гауссова линии излучения с полушириной  $\Delta F$  получили гауссову зависимость  $\gamma_2 = \gamma_2(l)$  с полушириной

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

### 3 Ход работы и обработка

По картине на экране осциллографа можно определить параметры видимости по следующим формулам:

$$\delta = \frac{h_1}{h_2}, \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{h_4 - h_3}{h_4 + h_3}, \quad (8)$$

Здесь 0 – уровень при отсутствии лучей, 1 и 2 – при закрытии одного из них. Используя  $\delta$ , можно рассчитать  $\gamma_1$  по формуле (5).

При условии одинаковой поляризации лучей ( $\alpha = 0$ ),

$$\gamma_2 = \frac{\gamma}{\gamma_1}. \quad (9)$$

Если же разность хода отсутствует ( $l = 0$ ), то

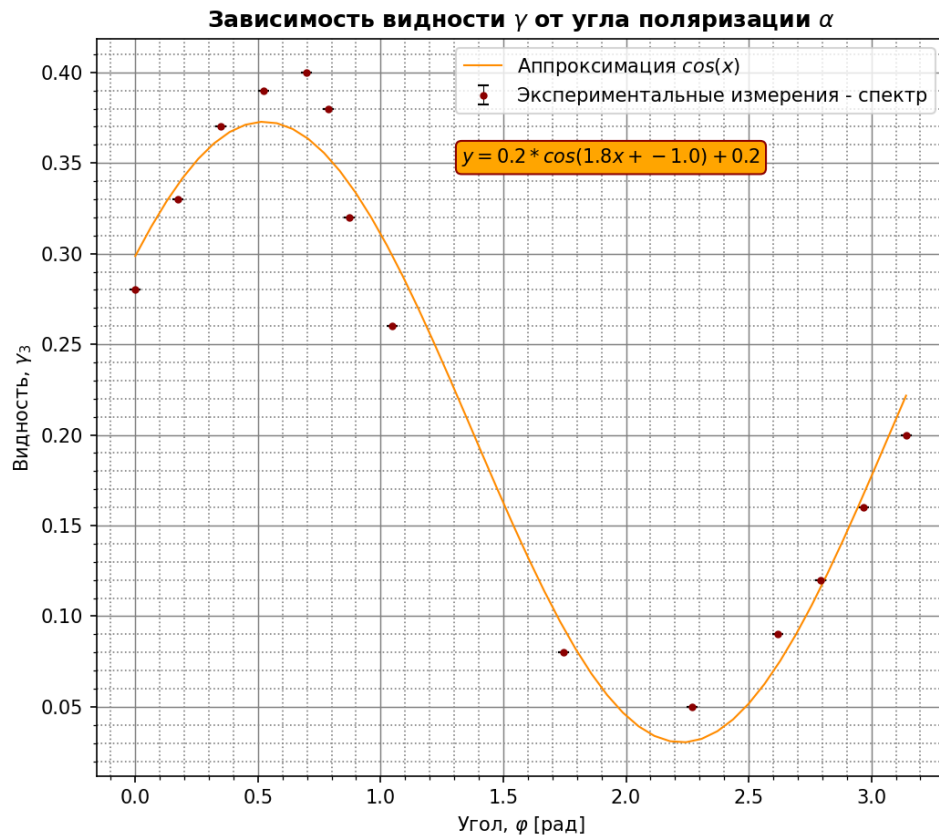
$$\gamma_3 = \frac{\gamma}{\gamma_1}. \quad (10)$$

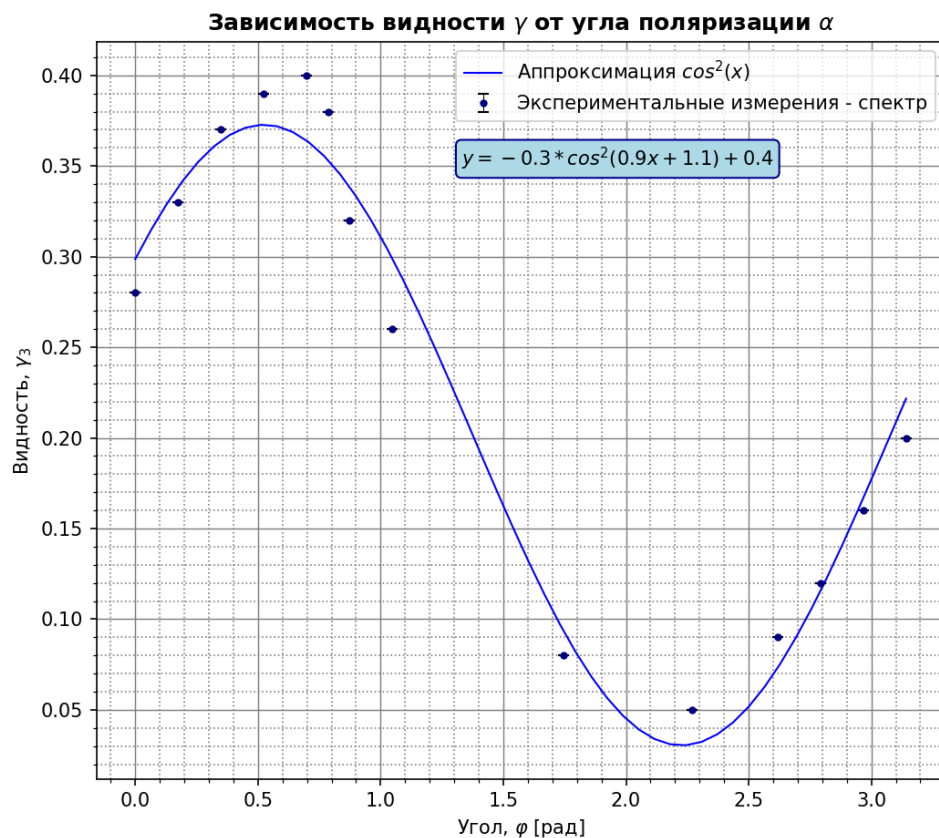
Исследуем зависимость видности интерференционной картины от угла поворота поляроида П1 при нулевой разности хода. Рассчитаем величины и занесем всё в таблицу:

Градусов	60	50	40	30	20	10	0
h1	10	15	25	25	30	30	25
h2	220	220	225	220	220	225	225
h3	170	160	150	150	160	170	180
h4	290	310	350	340	350	335	320
$\gamma$	0,261	0,319	0,400	0,388	0,373	0,327	0,280
$\delta$	0,045	0,068	0,111	0,114	0,136	0,133	0,111
$\gamma_2$	0,408	0,489	0,600	0,605	0,650	0,644	0,600
$\gamma_3$	0,640	0,653	0,667	0,640	0,573	0,507	0,467
Градусов	100	45	180	170	160	150	130
h1	5	30	10	10	5	5	0
h2	230	240	240	240	245	240	245
h3	220	165	200	210	220	225	235
h4	260	365	300	290	280	270	260
$\gamma$	0,083	0,377	0,200	0,160	0,120	0,091	0,051
$\delta$	0,022	0,125	0,042	0,042	0,020	0,021	0,000
$\gamma_2$	0,289	0,629	0,392	0,392	0,280	0,283	0,000
$\gamma_3$	0,289	0,600	0,510	0,408	0,429	0,321	

Таблица 1: Данные

Построим по этим данным график  $\gamma_3(\alpha)$ . Видно, что при аппроксимации квадратом получаем зависимость от  $\cos 2\alpha$  или же  $\cos^2 \alpha$ , что ожидаемо



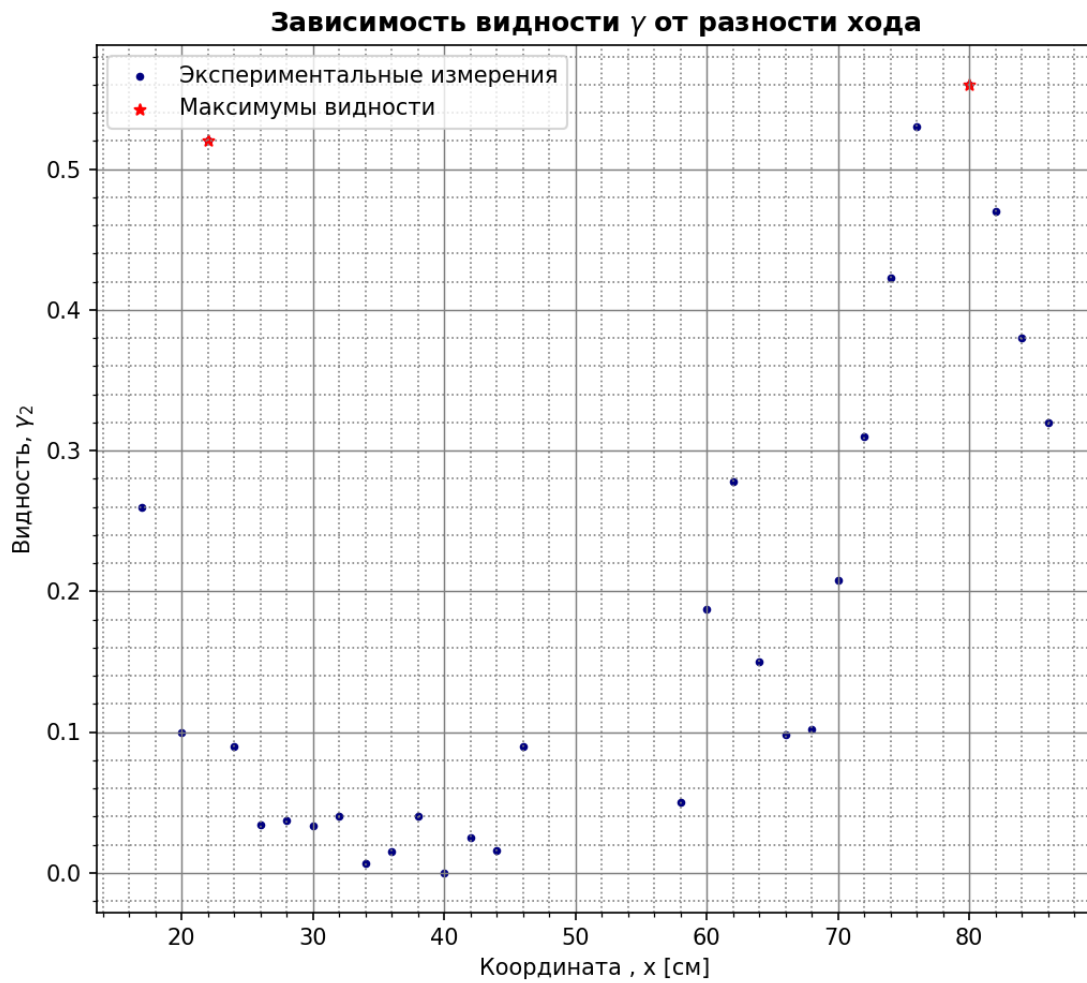


Исследуем зависимость видности от разности хода. Для этого установим поляроид П1 в положение, в котором картина видна наиболее четко. Снимем зависимость  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$  от координаты блока Б2. Занесем результаты в таблицу.

<b>см</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>36</b>
<b>h1</b>	60	35	20	125	30	140	110	90	110	135
<b>h2</b>	120	185	100	120	210	140	205	170	270	210
<b>h3</b>	130	260	70	200	215	260	300	250	380	330
<b>h4</b>	215	300	160	240	225	280	320	270	385	340
$\delta$	0,500	0,189	0,200	1,042	0,143	1,000	0,537	0,529	0,407	0,643
$\gamma_1$	0,943	0,732	0,745	1,000	0,661	1,000	0,953	0,951	0,907	0,976
$\gamma$	0,246	0,071	0,391	0,091	0,023	0,037	0,032	0,038	0,007	0,015
$\gamma_2$	0,261	0,098	0,525	0,091	0,034	0,037	0,034	0,040	0,007	0,015
<b>см</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>42</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>58</b>	<b>60</b>	<b>62</b>	<b>64</b>	<b>66</b>
<b>h1</b>	50	90	90	50	130	20	15	5	20	100
<b>h2</b>	185	35	120	130	30	140	40	115	100	125
<b>h3</b>	220	120	200	170	100	150	50	60	100	115
<b>h4</b>	235	120	210	175	115	160	70	75	125	140
$\delta$	0,270	2,571	0,750	0,385	4,333	0,143	0,375	0,043	0,200	0,800
$\gamma_1$	0,819	0,898	0,990	0,896	0,781	0,661	0,891	0,400	0,745	0,994
$\gamma$	0,033	0,000	0,024	0,014	0,070	0,032	0,167	0,111	0,111	0,098
$\gamma_2$	0,040	0,000	0,025	0,016	0,089	0,049	0,187	0,278	0,149	0,099
<b>см</b>	<b>68</b>	<b>70</b>	<b>72</b>	<b>74</b>	<b>76</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>84</b>	<b>86</b>
<b>h1</b>	35	20	10	10	110	30	30	20	50	60
<b>h2</b>	35	65	45	110	60	45	60	75	100	50
<b>h3</b>	110	70	40	90	50	35	40	60	90	70
<b>h4</b>	135	100	65	145	100	110	130	135	190	135
$\delta$	1,000	0,308	0,222	0,091	1,833	0,667	0,500	0,267	0,500	1,200
$\gamma_1$	1,000	0,848	0,771	0,553	0,956	0,980	0,943	0,815	0,943	0,996
$\gamma$	0,102	0,176	0,238	0,234	0,333	0,517	0,529	0,385	0,357	0,317
$\gamma_2$	0,102	0,208	0,309	0,423	0,349	0,528	0,562	0,472	0,379	0,318

Таблица 2: Данные и результаты

Построим график видности  $\gamma_2$  от координаты



По расстоянию между максимумами оценим расстояние  $L$  между зеркалами:

$$L = \frac{\Delta x}{2} = \frac{80 - 22}{2} \text{ см} = (29 \pm 1,4) \text{ см}$$

Тогда

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L} = (5 \pm 2) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

Так же можем найти  $l_{1/2} = 10 \pm 2 \text{ см}$

$$2\Delta F = \frac{0.26c}{l_{1/2}} = (15,6 \pm 5) \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

И число одновременно генерируемых лазером волн:

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