

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.4.4

Интерферометр Фабри - Перо

выполнила студентка группы Б03-303

Мария Шишкарёва



Долгопрудный, 2025 г.

1 Цель работы:

определить характеристики интерферометра Фабри-Перо: база интерферометра, добротность, линейная дисперсия, аппаратная разрешающая способность.

2 В работе используются:

ртутная и натриевая лампы, интерферометры Фабри-Перо, катетометры, линзы, светофильтры, оптические скамьи

3 Теория (Интерферометр Фабри-Перо):

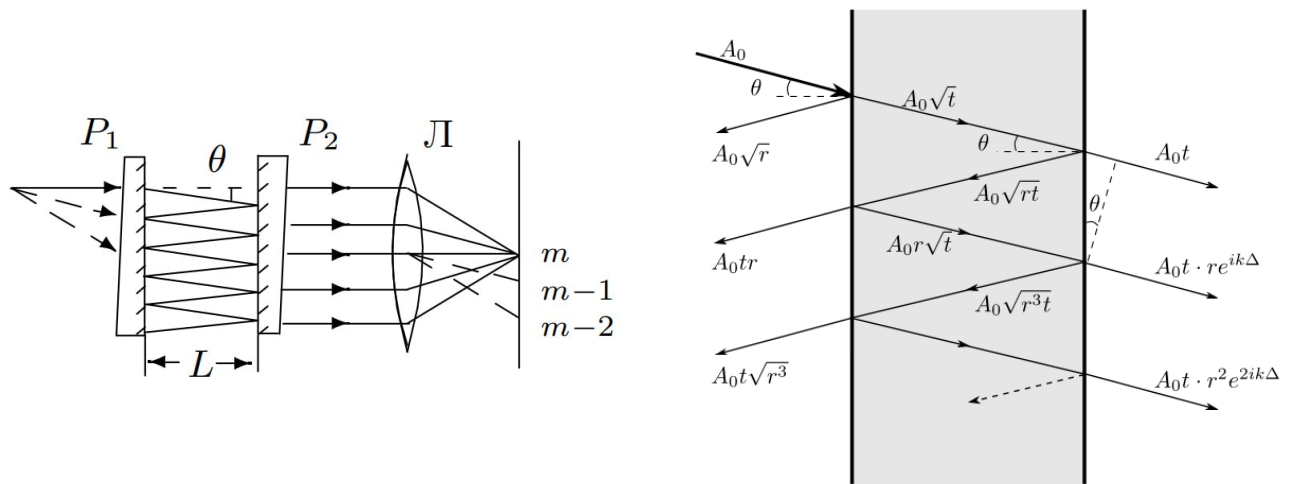


Рис. 1: Интерферометр Фабри-Перо

Интерферометр Фабри–Перо состоит из двух стеклянных (или кварцевых) пластин P_1 и P_2 , внутренние плоские поверхности которых хорошо отполированы (с точностью до $10^{-2}\lambda$) и установлены параллельно друг другу. На эти поверхности наносятся хорошо отражающие покрытия. Наружные поверхности пластин обычно составляют небольшой угол с внутренними, чтобы световой блик, отраженный от наружных поверхностей, не мешал наблюдениям. Интерферометр Фабри–Перо можно рассматривать как плоскопараллельную воздушную пластину, на которой происходят многократные отражения и интерференция световых лучей. Интерференционная картина, наблюдаемая в фокальной плоскости линзы $Л$, состоит из концентрических колец равного наклона. Для двух соседних лучей, распространяющихся между зеркалами

интерферометра под углом θ , разность хода определяется соотношением

$$\Delta = 2L \cos \theta$$

где L — расстояние между зеркалами. Разрешающей способностью прибора называют величину

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

разрешающая способность характеризует возможность прибора различать две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$

Угловая дисперсия определяется как

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

По величине угловой дисперсии можно определить угловое расстояние между двумя близкими спектральными линиями: $\delta\varphi = D\delta\lambda$

Дисперсионная область — предельная ширина спектрального интервала $\Delta\lambda$ прибора, для которой дифракционные максимумы соседних порядков не перекрываются. Она определяет диапазон длин волн, при которых прибор может быть использован для анализа спектра.

В случае интерферометра Фабри-Перо интерференционные максимумы будут наблюдаться для волн, падающих под углами θ_m , удовлетворяющими условию:

$$2L \cos \theta_m = m\lambda, \quad (1)$$

где L — база интерферометра. Для малых углов выражение можно переписать как

$$\theta_m^2 = 2 - \frac{\lambda}{L}m \quad (2)$$

Так как $\theta(i) = \frac{d(i)}{2f}$, где f — фокусное расстояние линзы, стоящей после интерферометра, а $d(i)$ — диаметр i -ого кольца, можно получить зависимость угла на максимум интерференции от его номера или диаметра кольца

$$\frac{d^2(i)}{4f^2} = \theta^2(i) = \text{const} + \frac{i\lambda}{L} \quad (3)$$

Выражение можно преобразовать для получения угловой дисперсии:

$$D_{\text{угл}} \approx -\frac{1}{\lambda \theta_m}, \quad (4)$$

где $\theta_m = \frac{d}{2f}$ в данной работе (f – фокусное расстояние используемой в работе линзы).

Также для малых углов условие возникновения интерференционного кольца можно записать в виде:

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{1}{4f^2} \frac{\Delta(d_i^2)}{\Delta(i)}, \quad (5)$$

Отсюда следует используемая в работе формула для линейной дисперсии, которая используется в работе:

$$D = \frac{2f^2}{\lambda d} \quad (6)$$

Аппаратная разрешающая способность для порядка спектра $m \approx \frac{2L}{\lambda}$ может быть найдена как:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\pi\sqrt{r}}{1-r}m = Nm, \quad (7)$$

где $N = \frac{\pi\sqrt{r}}{1-r}$ – число интерферирующих лучей.

Дисперсионная область интерферометра Фабри-Перо может быть найдена по следующей формуле:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2L}. \quad (8)$$

4 Схема установки:

В работе используются ртутная и натриевая лампы; интерферометры Фабри-Перо, катетометры, линзы, светофильтры, оптические скамьи.

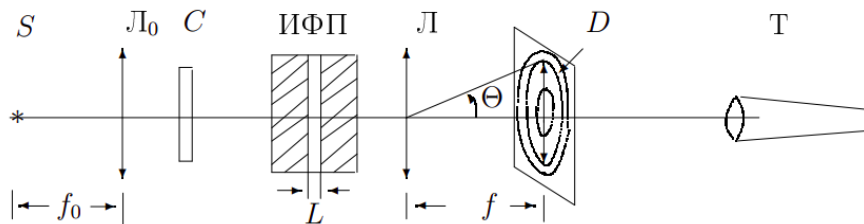


Рис. 2: Схема установки

На схеме S — лампа, Л₀ — линза, С — светофильтр, ИФП — интерферометр Фабри-Перо, Т — зрительная труба. Диаметры колец измеряются с помощью микроскопа катетометра.

5 Результаты измерений:

5.1 Ртутная лампа

погрешность катетометра $\sigma = 0.02$ мм

фокусное расстояние линзы $f = 50$ мм

зелёный фильтр		
m	$d_{\text{верх}}, \text{ мм}$	$d_{\text{низ}}, \text{ мм}$
1	197.64	152.14
2	195.95	153.56
3	193.93	155.03
4	191.91	156.41
5	189.67	158.28
6	187.23	159.95
7	183.54	170.31

жёлтый фильтр				
m	$d_{\text{верх1}}, \text{ мм}$	$d_{\text{низ1}}, \text{ мм}$	$d_{\text{верх2}}, \text{ мм}$	$d_{\text{низ2}}, \text{ мм}$
1	198.00	155.90	197.40	156.30
2	196.30	157.59	195.83	158.07
3	194.64	159.31	193.97	159.99
4	192.81	161.21	192.11	161.91
5	190.63	163.57	191.84	164.23
6	188.00	166.15	186.95	167.15
7	184.43	169.82	182.74	171.67

$$\delta r_{\text{зел}} = ((181.01 - 179.93) \pm 0.02) \text{ мм} = (1.08 \pm 0.02) \text{ мм}$$

$$\delta r_{\text{жёлт}} = ((182.12 - 172.35) \pm 0.02) \text{ мм} = (9.77 \pm 0.02) \text{ мм}$$

5.2 Натриевая лампа

погрешность катетометра $\sigma = 0.02 \text{ мм}$

фокусное расстояние линзы $f = 94 \text{ мм}$

жёлтый фильтр				
m	$d_{\text{верх1}}, \text{ мм}$	$d_{\text{низ1}}, \text{ мм}$	$d_{\text{верх2}}, \text{ мм}$	$d_{\text{низ2}}, \text{ мм}$
1	174.50	136.71	174.01	137.12
2	173.00	138.05	172.52	138.51
3	171.44	139.60	170.91	140.13
4	169.74	141.38	169.11	141.99
5	167.73	143.37	167.14	144.05
6	165.31	145.75	164.35	146.61
7	162.19	149.05	160.53	150.63

$$\delta r_{\text{жёлт}} = ((160.51 - 160.27) \pm 0.02) \text{ мм} = (0.24 \pm 0.02) \text{ мм}$$

6 обработка результатов:

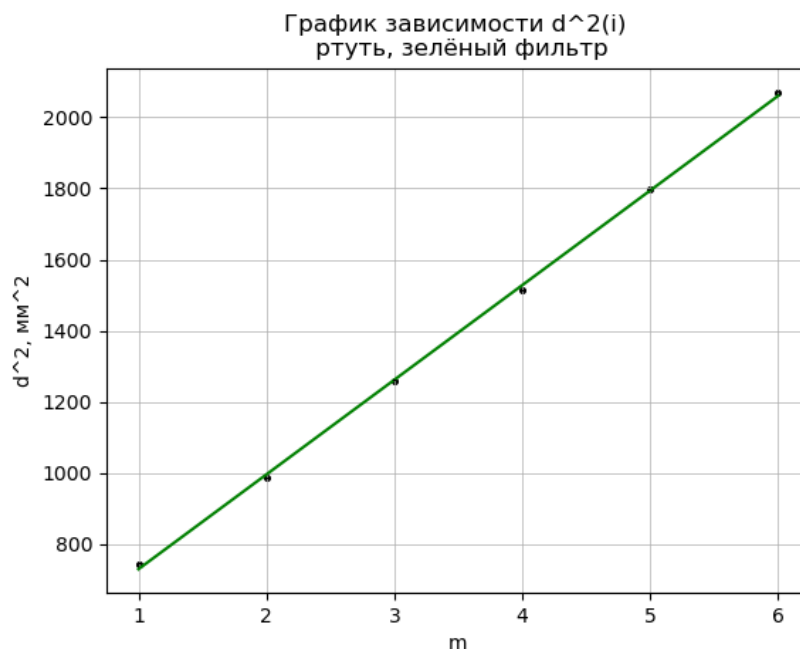
6.1 Зелёный фильтр ртутной лампы

Строим график зависимости $d^2(i)$ и по коэффициенту наклона находим базу L интерферометра, используя формулу (5):

$$\text{коэффициент наклона } k = (221.01 \pm 0.06) \text{ мм}^2$$

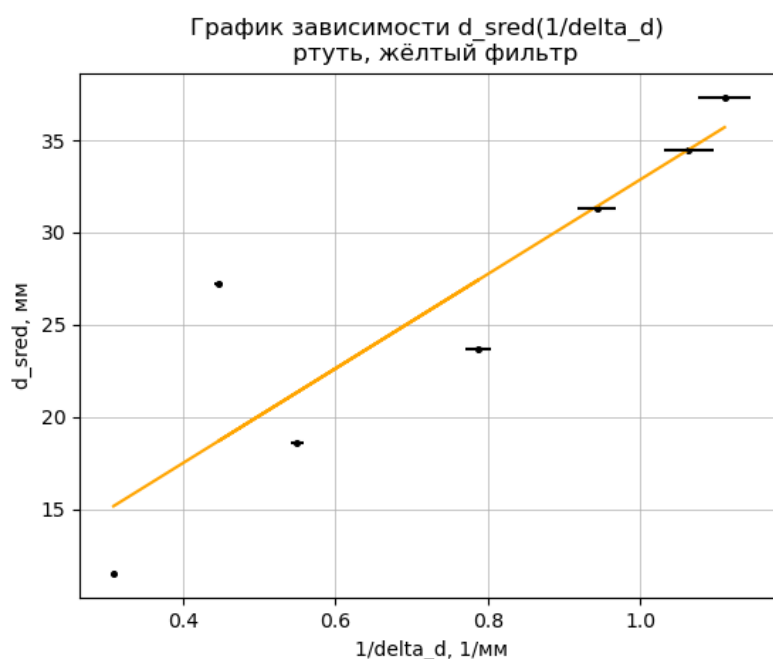
$$\lambda (\text{Hg}) = 546.10 \text{ нм}$$

$$L = (119.593 \pm 0.062) \text{ мкм}$$



6.2 Жёлтый фильтр ртутной лампы

Строим график зависимости $\langle d \rangle \left(\frac{1}{\Delta d} \right)$:



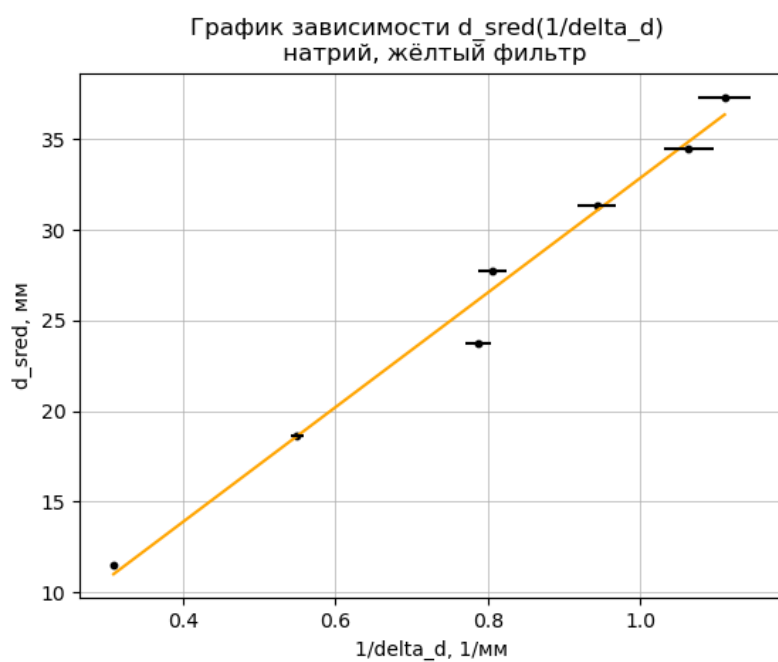
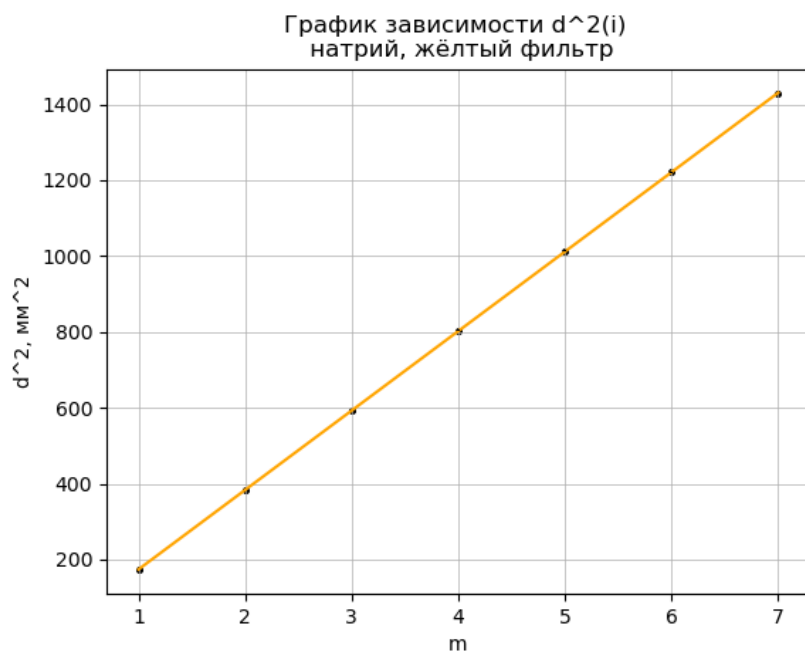
коэффициент наклона $k = (32.18 \pm 0.74) \text{ мм}^2$ По коэффициенту наклона прямой находим разность длин волн $\Delta \lambda$ для жёлтой пары линий ртути ($\lambda(\text{Hg}) = 578 \text{ нм}$) по формуле (5):

$$\Delta \lambda = (3.84 \pm 0.09) \text{ А\AA}$$

6.3 Натриевая лампа

Проводим аналогичные расчёты для жёлтого света натриевой лампы

$$\lambda (\text{Na}) = 589.3 \text{ нм}$$



$$\Delta \lambda = (5.36 \pm 0.13) \text{ Арм}$$

$$L = (116.134 \pm 0.072) \text{ мкм}$$

6.4 Дополнительные расчёты

6.4.1 Натриевая лампа

Экспериментальное значение линейной дисперсии интерферометра:

$$D = (0.29 \pm 0.01)$$

Теоретическое значение линейной дисперсии интерферометра:

$$D = (0.27 \pm 0.05)$$

Аппаратная разрешающая способность:

$$R_a = 8355.3 \pm 2.6$$

6.4.2 Ртутная лампа

Экспериментальное значение линейной дисперсии интерферометра:

$$D = (0.30 \pm 0.08)$$

Теоретическое значение линейной дисперсии интерферометра:

$$D = (0.39 \pm 0.06)$$

Аппаратная разрешающая способность:

$$R_a = 6101.5 \pm 1.9$$

7 Вывод:

Были найдены характеристики интерферометра Фабри-Перо: база интерферометра, добротность, линейная дисперсия и аппаратная разрешающая способность. Результаты измерений и вычислений совпадают с теоретическими данными в пределах погрешностей