

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа фотоники, электроники и молекулярной физики

Отчёт о выполнении лабораторной работы

4.4.4

Интерферометр Фабри-Перо

Автор:
Макаров Лев Евгеньевич
Б04-306

1 Введение

Цель работы:

1. Определение характеристик интерферометра Фабри-Перо: база интерферометра, добротность, линейная дисперсия, аппаратная разрешающая способность
2. Определение числа интерферирующих лучей, разности длин волн для линий пары колец.

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

2 Теоретические сведения

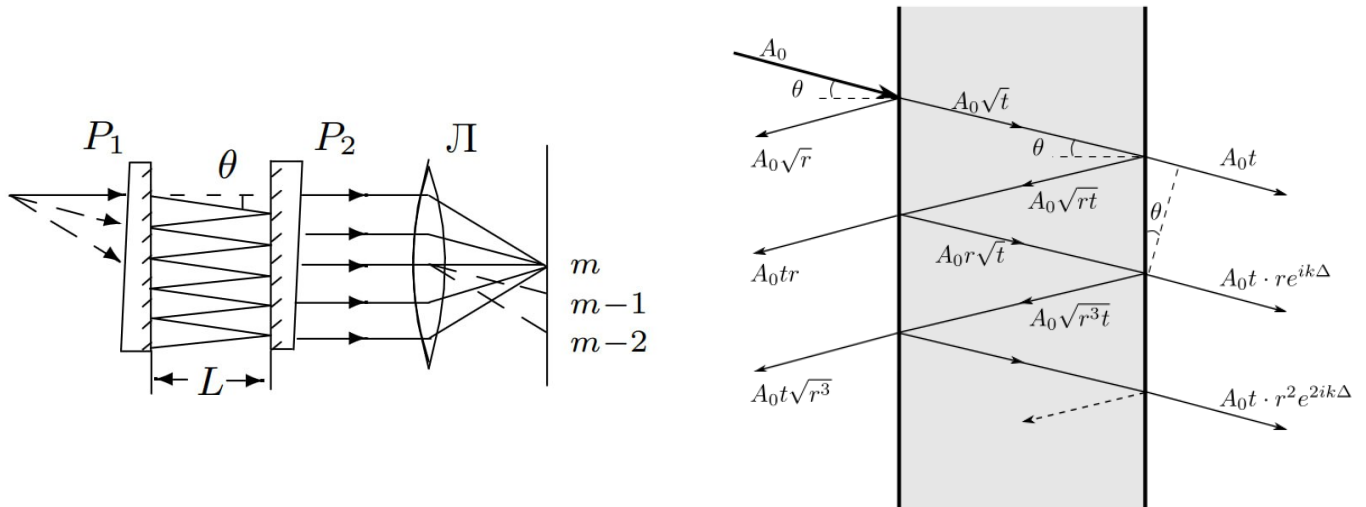


Рис. 1: Интерферометр Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо состоит из двух стеклянных (или кварцевых) пластин P1 и P2, 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:

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

3 Экспериментальная установка

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

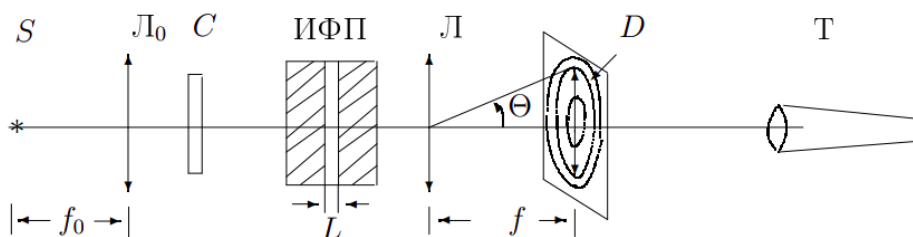


Рис. 2: Схема установки

На схеме S — лампа, L_0 — линза, C — светофильтр, ИФП — интерферометр Фабри-Перо, T — зрительная труба. Диаметры колец измеряются с помощью микроскопа катетометра.

4 Результаты измерений и обработка данных

I. Юстировка системы

1. Включим лампу.
2. Убедимся, что на интерферометр попадает свет.
3. В остальном установка является настроенной
4. Ознакомимся с техническим описанием приборов

II. Измерения

5. Замерим диаметры колец и запишем в таблицы 1-4

Таблица 1: Измерение диаметров колец зеленой пары Ртутной лампы

N_{down}	x_{down} , мм	N_{up}	x_{up} , мм
1	169.290	-1	184.361
2	165.989	-2	187.624
3	163.536	-3	190.000
4	161.517	-4	192.028
5	159.769	-5	193.752
6	158.237	-6	195.295
7	156.788	-7	196.703
8	155.512	-8	197.964
9	154.333		
10	153.210		

Таблица 2: Измерение диаметров колец Натриевой лампы

N_{down}	x_{down} , мм	N_{up}	x_{up} , мм
4	141.915	-4	161.000
5	140.272	-5	162.449
6	139.420	-6	163.327
7	138.209	-7	164.652
8	137.493	-8	165.281
9	136.354	-9	166.421
10	135.800	-10	166.973
11	134.727	-11	168.074
12	134.265	-12	168.632
13	133.301		
14	132.771		
15	131.860		
16	131.450		

Таблица 3: Измерение диаметров колец оранжевой пары Ртутной лампы

N_{down}	x_{down} , мм	N_{up}	x_{up} , мм
8	160.925	8	192.618
9	159.655	9	193.790
10	159.100	10	194.355
11	158.000	11	195.421
12	157.600	12	195.873
13	156.610	13	196.839
14	156.140	14	197.276
15	155.279		
16	154.866		
17	153.935		
18	153.657		

Таблица 4: Измерение диаметров колец желтой пары Ртутной лампы

N_{down}	x_{down} , мм	N_{up}	x_{up} , мм
8	160.911	-8	192.714
9	159.661	-9	193.921
10	159.073	-10	194.483
11	158.080	-11	195.552
12	157.507	-12	196.015
13	156.528	-13	196.960
14	156.126	-14	197.439
15	155.194		
16	154.801		
17	153.973		
18	153.562		

6. Замерим δr для желтой, зеленой пары ртути и для натрия. Запишем результаты в таблицу 5.

Таблица 5: Измерение δr для разных пар

	желтый	зеленый	натрий
x_{up} , мм	183.822	184.392	156.166
x_{down} , мм	184.099	184.714	156.666
δr , мм	0.277	0.322	0.500

7. Оценим максимальный порядок интерференции и дисперсионную область

8. данный пункт не выполнялся

III. Обработка результатов

1. Построим график зависимости $d_i^2 = F(i)$ для зеленой пары ртути. Изобразим его на рисунке 3

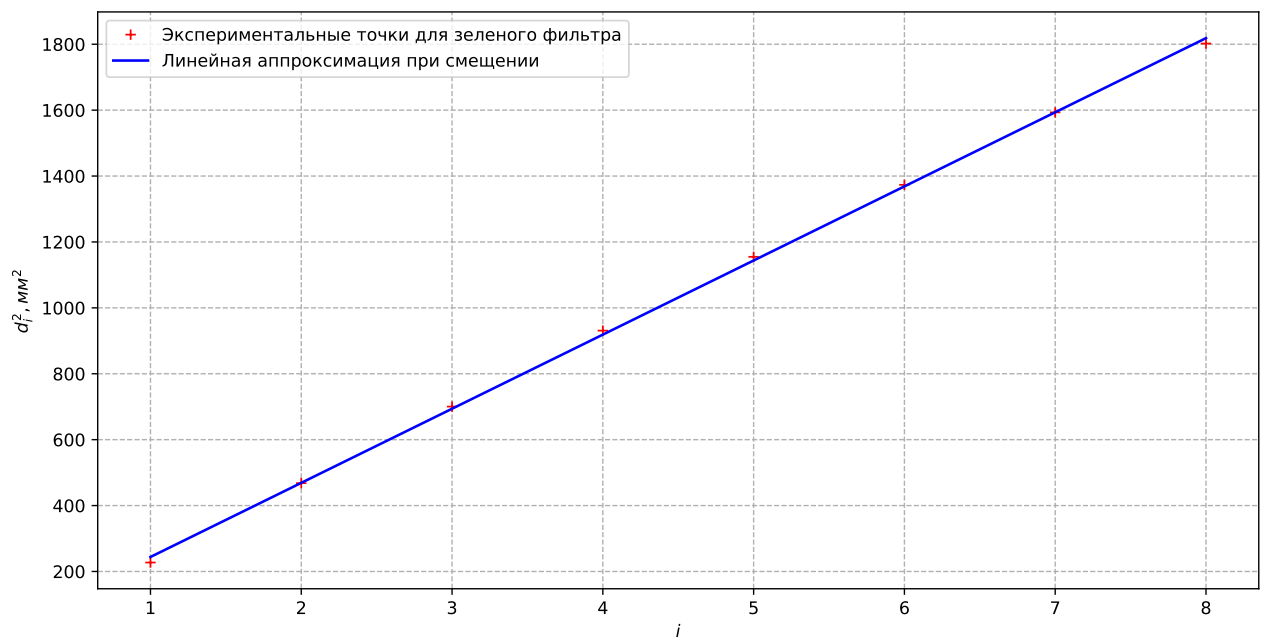


Рис. 3: График зависимости $d_i^2 = F(i)$ для зеленой пары

Рассчитаем базу интерферометра:

$$L = \frac{4\lambda f^2}{k} \approx (0.118 \pm 0.005) \text{ мм}$$

2. Построим график зависимости $\bar{d} = F(1/\Delta d)$ и изобразим его на рис. 4

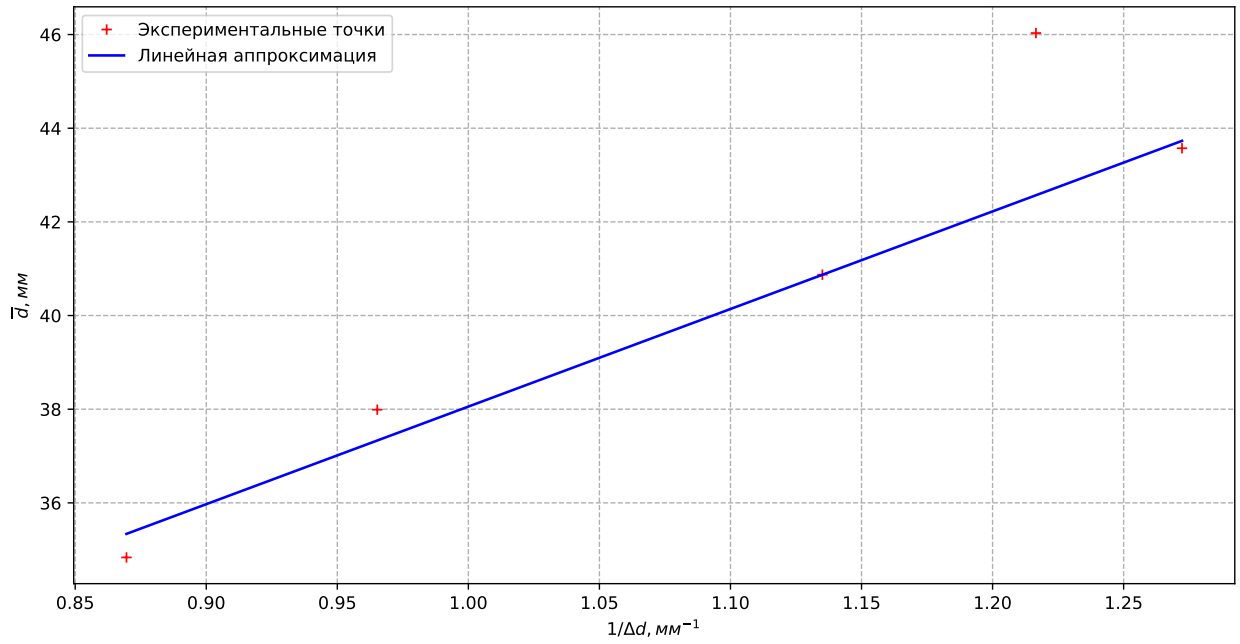


Рис. 4: График зависимости $\bar{d} = F(1/\Delta d)$ для желтой пары линий ртути

По углу наклона рассчитаем разность длин волн $\Delta\lambda$ для желтой пары

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda k}{4f^2} \approx 2.5 \text{ \AA}$$

3. Построим аналогичные графики и аналогичные расчеты для натриевой лампы.

$$L = \frac{4\lambda f^2}{k} \approx (0.279 \pm 0.005) \text{ мм}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda k}{4f^2} \approx 3.2 \text{ \AA}$$

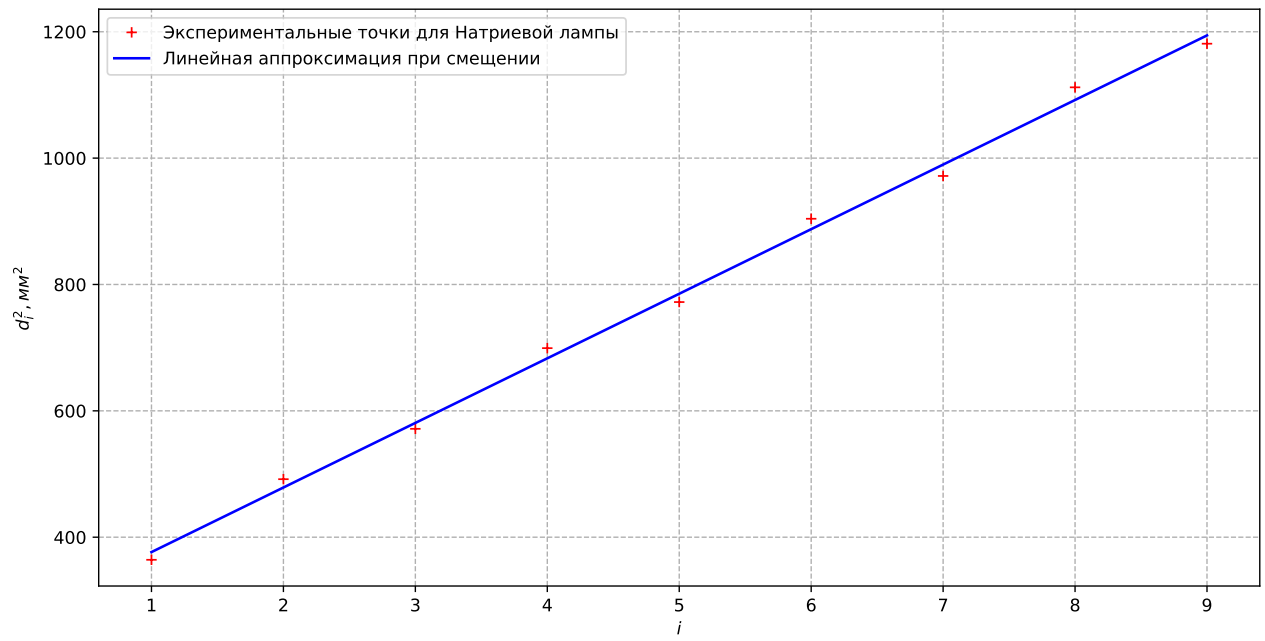


Рис. 5: График зависимости $d_i^2 = F(i)$ для линий натрия

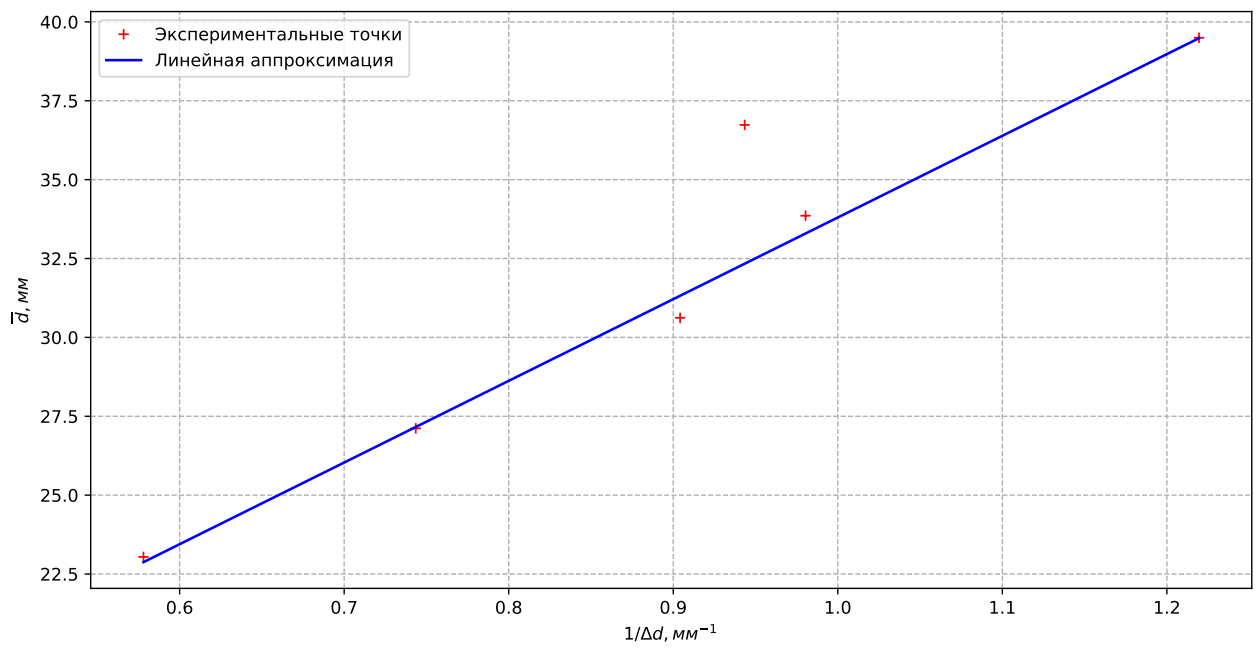


Рис. 6: График зависимости $\bar{d} = F(1/\Delta d)$ для линий натрия

4. Оценим экспериментальное значение линейной дисперсии интерферометра. Результаты запишем в таблицу 6 для желтой пары и таблицу 7 для натрия.

Таблица 6: Измерение D для желтой пары

N	1	2	3	4	5
$D_{exp}, \text{ мм}/\text{\AA}$	0.231	0.208	0.177	0.158	0.165
$D_{theor}, \text{ мм}/\text{\AA}$	0.120	0.110	0.102	0.096	0.091

Таблица 7: Измерение D для натрия

N	1	2	3	4	5	6
$D_{exp}, \text{ мм}/\text{\AA}$	0.274	0.213	0.175	0.162	0.168	0.130
$D_{theor}, \text{ мм}/\text{\AA}$	0.178	0.151	0.134	0.121	0.112	0.104

5. Оценим аппаратную разрешающую способность

$$R_{Na} = \frac{4f^2}{D\delta r} \approx 3500$$

$$R = \frac{4f^2}{D\delta r} \approx 2000$$