

МОСКОВСКИЙ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.4.4

Интерферометр
Фабри-Перо

Студент
Ришат ИСХАКОВ
513 группа

Преподаватель
Александр Александрович
КАЗИМИРОВ



30 марта 2017 г.

Цель работы: изучение интерферометра Фабри-Перо и определение его характеристик, как спектрального прибора.

В работе используются: интерферометры Фабри-Перо, линзы, светофильтр, ртутная лампа ПРК-2, высокочастотная натриевая лампа, катетометры КМ-6.

1. Теоретическая часть

Интерферометр Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо состоит из двух отражающих пластин, внутренние поверхности которых хорошо отполированы и установлены параллельно друг другу. Его 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. Для двух соседних лучей, распространяющихся между зеркалами интерферометра под углом θ , разность хода определяется соотношением

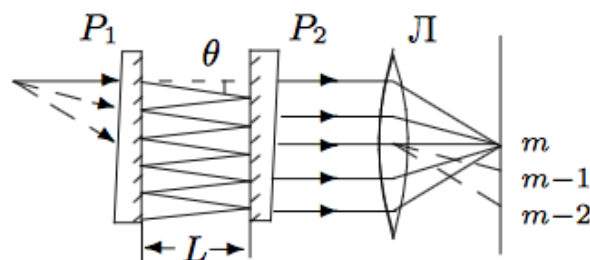


Рис. 1: Интерферометр Фабри-Перо

$$\Delta = 2L \cos \theta, \quad (1)$$

где L – расстояние между зеркалами интерферометра. Будем считать, что поглощение света в зеркалах отсутствует, что достигается лишь при целых значениях отношения Δ/λ .

Интерференционная картина состоит из узких светлых колец, разделенных широкими промежутками, расстояния между которыми мы будем измерять.

Измерение длин волн λ и расстояний $d\lambda$ между спектральными линиями.

Исследуем диаметры интерференционных колец, предполагая, что угол θ достаточно мал. Рассмотрим два кольца с разным порядком интерференции: m_i и m_j соответственно. Из (1) и условия отсутствия поглощения следует, что светлое кольцо порядка m образуется при

$$\Delta = 2L \cos \theta = m\lambda \quad (m - \text{целое}). \quad (2)$$

При уменьшении угла θ порядок интерференции возрастает, то есть больший порядок соответствует кольцам меньшего диаметра.

Для малых углов θ :

$$2L \left(1 - \frac{\theta_i^2}{2} \right) = m_i \lambda; \quad 2L \left(1 - \frac{\theta_j^2}{2} \right) = m_j \lambda. \quad (3)$$

Вычтем второе уравнение из первого и рассмотрим два соседних кольца:

$$L(\theta_j^2 - \theta_i^2) = (j - i)\lambda$$

Диаметр D кольца в фокальной плоскости линзы связан с ее фокусным расстоянием:

$$D = 2f\theta$$

Тогда выразим λ из уравнения:

$$\lambda = \frac{L}{4f^2} \frac{D_j^2 - D_i^2}{j - i} \quad (4)$$

Пусть в интерферометре Фабри-Перо наблюдается система колец для двух близких спектральных линий λ и $\lambda + d\lambda$, дифференцируя (2) при малых θ найдем

$$-2L\theta d\theta = m d\lambda,$$

откуда следует:

$$d\lambda = -\frac{2L\theta}{m} \simeq -\lambda \theta d\theta = -\frac{\lambda \bar{D}}{4f^2} dD, \quad (5)$$

где \bar{D} — средний диаметр колец, а dD — разность диаметров колец, образующихся для спектральных линий с длинами волн λ , и $\lambda + d\lambda$ при одинаковом порядке интерференции. С помощью формулы (5) можно определять $d\lambda$, не зная постоянной интерферометра L .

Дисперсия интерферометра

Отношение $D^* = dl/d\lambda$, где dl — расстояние между спектральными линиями в плоскости спектра, а $d\lambda$ — разность длин волн этих линий, называют **ЛИНЕЙНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ** спектрального прибора. Линейная дисперсия для интерферометра Фабри-Перо выражается через угловую ($d\theta/d\lambda$) (формула (5)):

$$D^* = f \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{dD}{2d\lambda} = \frac{2f^2}{\lambda D}$$

Дисперсионная область

Областью дисперсии называют максимальный интервал длин волн $\Delta\lambda$, при котором еще не происходит перекрытия интерференционных полос соседних порядков. Пусть накладывается кольцо $(m + 1)$ -го порядка для длины волны λ и кольца m -го порядка для длины волны $\lambda + \Delta\lambda$:

$$m(\lambda + \Delta\lambda) = (m + 1)\lambda, \quad (6)$$

откуда

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m} \approx \frac{\lambda^2}{2L} \quad (7)$$

Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо

Разрешающая способность спектрального прибора определяется соотношением:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \quad (8)$$

где $\delta\lambda$ – минимальная разность длин волн, разрешимая прибором вблизи волны λ . Если определить ширину линии на уровне, на котором интенсивность падает в два раза по сравнению с максимальным значением в середине линии, можно из критерия разрешения Релея определить разрешающую способность:

$$R \approx \frac{2\pi L\sqrt{r}}{\lambda(1-r)} \quad (9)$$

2. Установка и параметры измерения

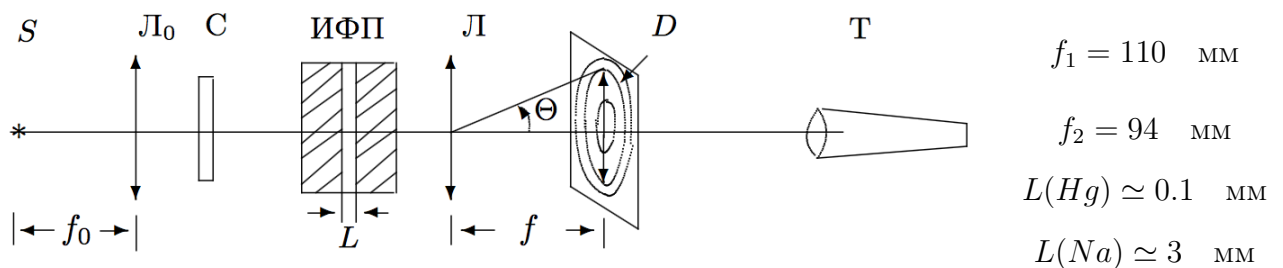


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

Свет от лампы S , пройдя через линзу L_0 светофильтр C попадает в интерферометр Фабри-Перо (ИФП). Линза L_0 формирует пучек лучей. Интерференционные кольца наблюдаются в фокальной плоскости линзы L .

Ртутная лампа

Сначала измерим координаты i -ых колец, двигаясь снизу вверх. По ним можно определить диаметр каждого кольца.

i	1	2	3	4	5	6
$x_{\text{н}}, \text{мм}$	166.61	172.33	175.52	177.99	179.85	181.87
$x_{\text{в}}, \text{мм}$	155.53	152.38	149.92	147.88	146.12	144.48
$D, \text{мм}$	11.08	19.95	25.6	30.11	33.73	37.39
$D^2, \text{мм}^2$	122.77	398.00	655.36	906.61	1137.71	1398.01

Таблица 1: Измерение диаметров зеленых колец

Оценим максимальный порядок интерференции m (номер центрального кольца) для желтой и зеленой линии ртути:

$$m_{\text{зел}} = \frac{2L \cos \theta}{\lambda} \approx \frac{2L}{\lambda} = 357; \quad m_{\text{жел}} = 345$$

Оценим дисперсионную область:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m}$$

$$\lambda_{\text{ж}} = 160 \text{ \AA}; \quad \lambda_{\text{з}} = 170 \text{ \AA}$$

Построим график зависимости $D_i^2 = f(i)$

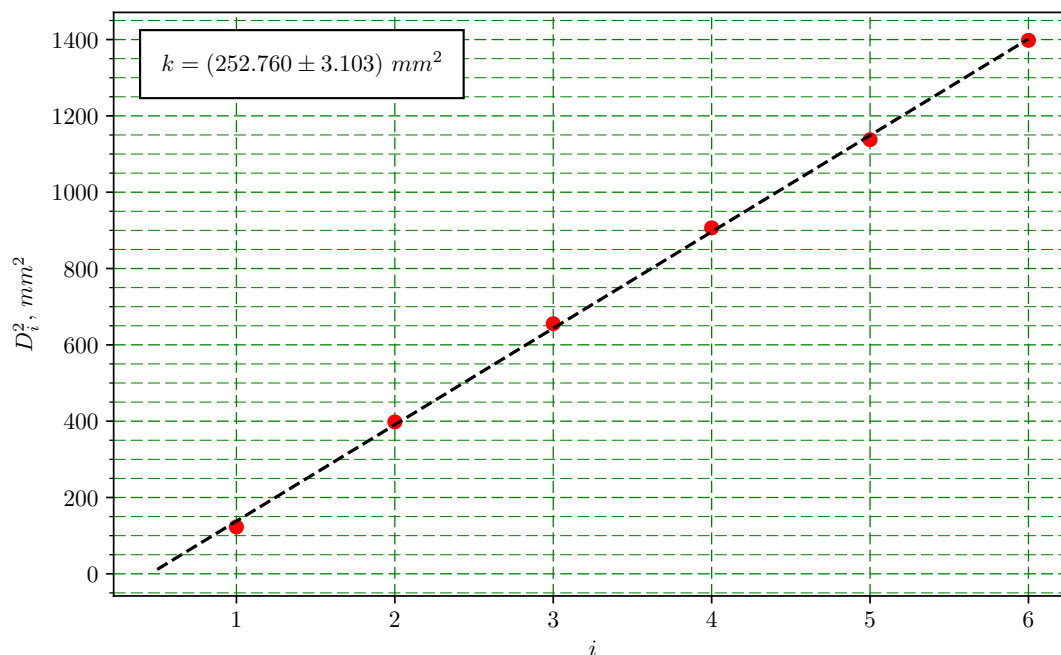


Рис. 3: График зависимости $D_i^2 = f(i)$ для зеленых колец ртути

Определим постоянную интерферометра L (расстояние между зеркалами) по формуле (5), учитывая, что $\lambda = 5461 \text{ \AA}$

$$L = \frac{4f^2\lambda}{k} = (1.04 \pm 0.09) \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

i	1	2	3	4	5	6
$x_{H1}, \text{ мм}$	166.78	172.53	175.64	178.13	180.28	182.15
$x_{B1}, \text{ мм}$	160.85	155.22	151.99	149.47	147.19	145.42
$x_{H2}, \text{ мм}$	169.53	173.65	176.61	178.84	181.1	182.74
$x_{B2}, \text{ мм}$	158.32	153.98	151.27	148.74	146.71	144.88
$D_1, \text{ мм}$	5.93	17.31	23.65	28.66	33.09	36.73
$D_2, \text{ мм}$	11.21	19.67	25.34	30.1	34.39	37.86
$\overline{D}, \text{ мм}$	8.57	18.49	24.50	33.74	33.56	37.30
$\Delta D, \text{ мм}$	5.28	2.36	1.69	1.44	1.3	1.13
$1/\Delta D, \text{ мм}$	0.19	0.42	0.59	0.69	0.77	0.88

Таблица 2: Измерение диаметров желтых колец

Построим график $\overline{D}(1/\Delta D)$ для желтых колец ртути.

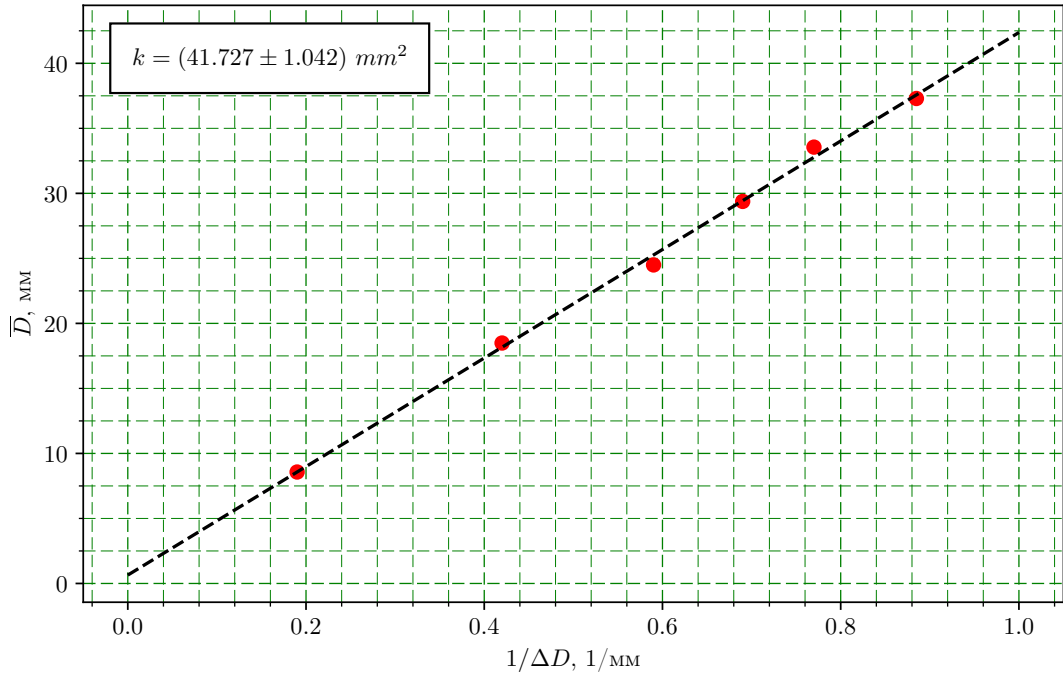


Рис. 4: График зависимости $\overline{D}(1/\Delta D)$ для желтых колец ртути

По углу наклона прямой рассчитаем разность длин волн для желтой пары линий ртути:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda \overline{D} \Delta D}{4f^2} = \frac{\lambda k}{4f^2} = (4.9 \pm 0.3) \text{ \AA}$$

Измерим ширину кольца:

$$\delta r = (0.8 \pm 0.01) \text{ мм}$$

Оценим аппаратную разрешающую способность:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{4f^2}{D\delta r} = 5040 \pm 20$$

Найдем теоретическое значение добротности для $r = 0.85$:

$$Q = \frac{2\pi L}{\lambda(1-r)} = 7600$$

Найдем число интерферирующих лучей:

$$N = \frac{Q}{m} = 21$$

Натриевая лампа

i	1	2	3	4	5	6
$x_{н1}, \text{ мм}$	165.76	169.92	172.64	174.54	176.52	178.23
$x_{в1}, \text{ мм}$	155.56	151.69	148.95	146.77	144.9	143.19
$x_{н2}, \text{ мм}$	167.39	170.85	173.46	175.28	177.09	178.74
$x_{в2}, \text{ мм}$	154.07	150.73	148.23	146.17	144.32	142.66
$D_1, \text{ мм}$	10.2	18.23	23.69	27.77	31.62	35.04
$D_2, \text{ мм}$	13.32	20.12	25.23	29.11	32.77	36.08
$D, \text{ мм}$	11.76	19.18	24.46	28.44	32.20	35.56
$D^2, \text{ мм}$	138.30	367.68	598.29	808.83	1036.52	1264.51
$\Delta D, \text{ мм}$	3.12	1.89	1.54	1.34	1.15	1.04
$1/\Delta D, \text{ мм}$	0.32	0.53	0.65	0.75	0.87	0.96

Таблица 3: Измерение диаметров желтых колец натрия

Построим график зависимости $D_i^2 = f(i)$

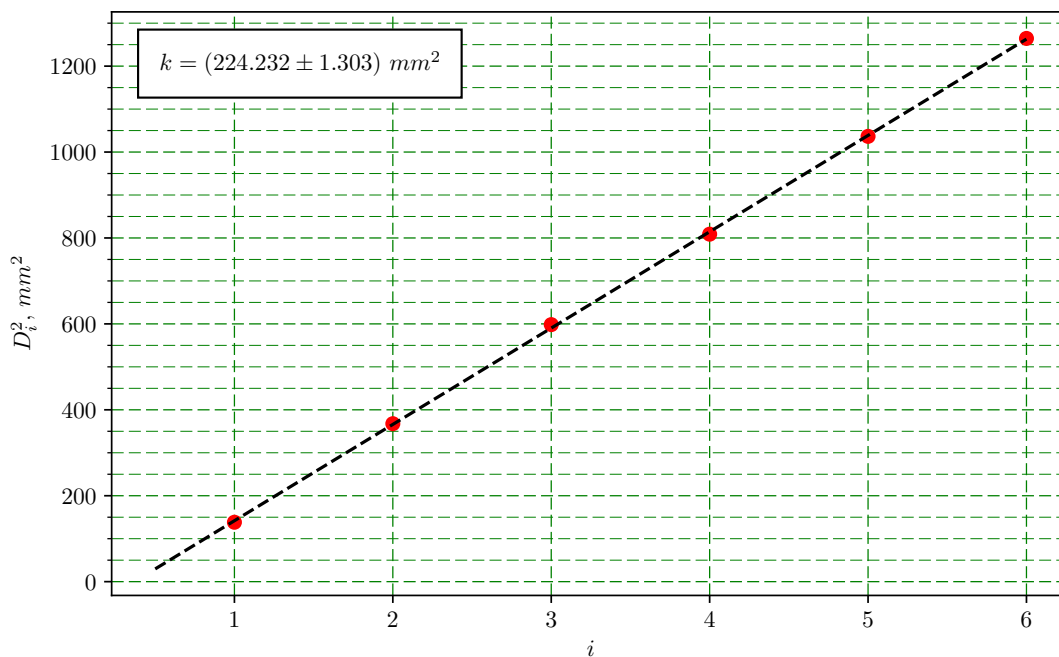


Рис. 5: График зависимости $D_i^2 = f(i)$ для зеленых колец натрия

Определим постоянную интерферометра L (расстояние между зеркалами) по формуле (5), учитывая, что $\lambda = 5893 \text{ \AA}$

$$L = \frac{4f^2\lambda}{k} = (0.92 \pm 0.06) \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Построим график $\overline{D}(1/\Delta D)$ для колец натрия.

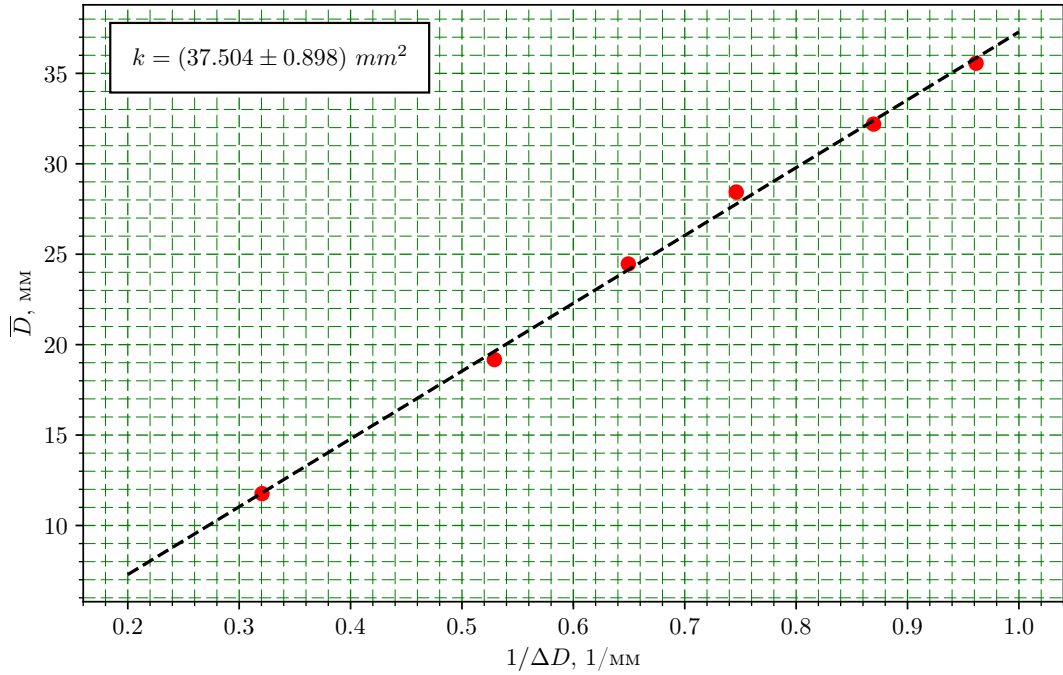


Рис. 6: График зависимости $\overline{D}(1/\Delta D)$ для колец натрия

По углу наклона прямой рассчитаем разность длин волн для желтой пары линий натрия:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda\overline{D}\Delta D}{4f^2} = \frac{\lambda k}{4f^2} = (6.3 \pm 0.2) \text{ \AA}$$

Оценим экспериментальные и теоретические значения линейной дисперсии интерферометров:

$$D_{\text{эксп}}^* = \frac{\Delta D}{2\Delta\lambda}; \quad D_{\text{теор}}^* = \frac{2f^2}{\lambda D}$$

$D_{\text{эксп}}^*$, мм/Å	$D_{\text{теор}}^*$, мм/Å	$\sigma D_{\text{эксп}}^*$, мм/Å	
0.54	0.44	0.08	ртуть
0.24	0.25	0.04	
0.17	0.19	0.03	
0.15	0.16	0.02	
0.13	0.14	0.02	
0.12	0.13	0.02	
0.25	0.24	0.03	натрий
0.15	0.15	0.02	
0.12	0.11	0.02	
0.11	0.10	0.01	
0.09	0.09	0.01	
0.08	0.08	0.01	

Таблица 4: Экспериментальные и теоретические значения линейной дисперсии

Измерим ширину кольца:

$$\delta r = (0.52 \pm 0.01) \text{ мм}$$

Оценим аппаратную разрешающую способность:

$$R = \frac{\lambda}{\delta \lambda} = \frac{4f^2}{D\delta r} = 4930 \pm 20$$

Найдем теоретическое значение добротности для $r = 0.85$:

$$Q = \frac{2\pi L}{\lambda(1-r)} = 7100$$

Найдем число интерферирующих лучей:

$$N = \frac{Q}{m} = 20$$

3. Вывод

Мы изучили работу интерферометр Фабри-Перо, определили его постоянную, аппаратную разрешающую способность, значение линейной дисперсии. Полученные результаты с точностью до погрешности совпадают с теоретическими/заводскими значениями.