

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по общему курсу физики
Оптика

Интерферометр Фабри-Перо.

Таранов Александр
Группа Б01-206

Содержание

1	Теоритическое введение	1
2	Описание экспериментальной установки	2
3	Параметры установки	4
4	Обработка результатов	4
4.1	Ртутная лампа	4
4.2	Натриевая лампа	6
5	Заключение	8

Цель работы: определение спектральных характеристик интерферометра Фабри-Перо.

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

1. Теоритическое введение

Интерферометр Фабри–Перо состоит из двух стеклянных или кварцевых пластин с хорошо отполированными поверхностями. На одну поверхность каждой пластины нанесены отражающие свет покрытия. Интерферометр можно рассматривать как плоскопараллельную пластину, в которой происходят многократные отражения и интерференция световых волн (рис. 1).

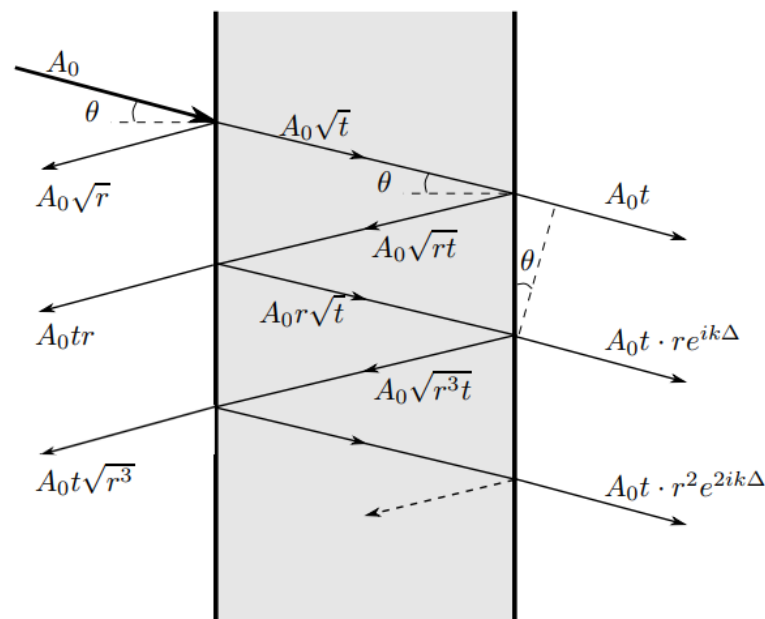


Рис. 1: Прохождение волны через интерферометр Фабри–Перо

Найдём условие возникновения интерференционной картины для световой волны с длиной λ . Выразим разность хода двух интерферирующих волн, падающих на интерферометр под углом θ :

$$\delta = 2L \cos \theta,$$

где через δ обозначена разность хода двух волн, а через L – база интерферометра. Отсюда условие максимума интенсивности интерферирующих волн:

$$2L \cos \theta_m = m\lambda.$$

Оно же является условием резонанса, при выполнении которого интерферометр просветляется для данной длины волны λ .

Для малых углов и больших порядков спектра угловая дисперсия определяется соотношением:

$$D = \frac{d\theta}{d\lambda} = -\frac{m}{2m \sin \theta_m} \approx -\frac{1}{\lambda \theta_m}.$$

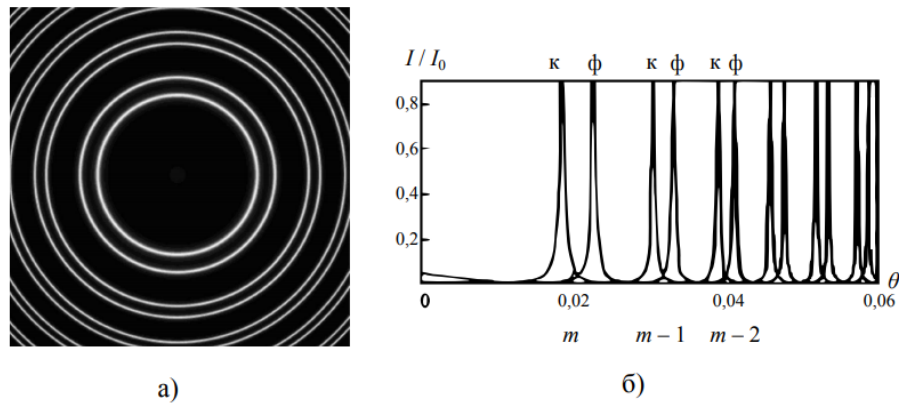


Рис. 2: а) Наблюдаемая интерференционная картина; б) Зависимость интенсивности света от угла θ

Разрешающая способность для порядка спектра $m \approx \frac{2L}{\lambda}$:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\pi\sqrt{r}m}{(1-r)}$$

2. Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Свет от ртутной лампы S , пройдя через линзу L_0 и светофильтр C , попадает на интерферометр Фабри-Перо (ИФП). Линза L_0 служит для формирования пучка лучей (слегка сходящегося или слегка расходящегося). Интерференционные кольца наблюдаются в локальной плоскости линзы L . Картина рассматривается через зрительную трубу T , сфокусированную на эту плоскость. Диаметры колец измеряются с помощью микроскопа катетометра.

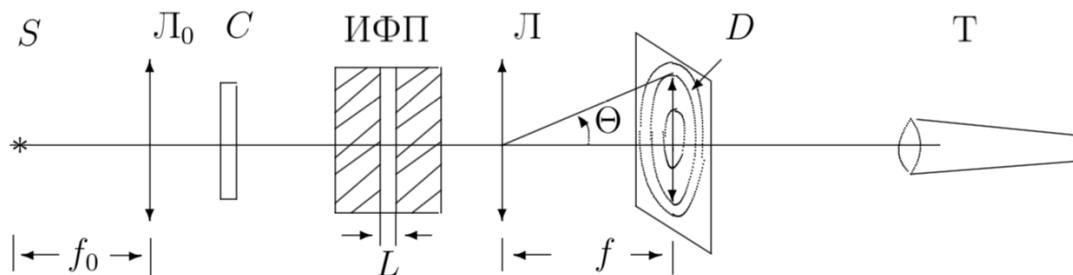


Рис. 3: Экспериментальная установка

Зрительная труба и отсчетный микроскоп — элементы катетометра — прибора, предназначенного для измерения расстояний в вертикальной плоскости вдоль вертикальной оси. При достаточной яркости ртутной лампы можно увидеть, что зелёная линия ртути состоит из нескольких компонентов. Расщепление этой спектральной линии связано с дополнительной энергией, возникающей как в результате взаимодействия магнитных моментов ядра и электрона — *сверхтонкая структура* (магнитное поле ядра действует на спиновый магнитный момент электрона), так и с *изотопическим сдвигом* (в парах ртути присутствуют в заметных количествах изотопы с атомными массами от 198 до 204 а.е.м.). Каждое зелёное кольцо содержит более десятка близко расположенных компонентов, но разрешение нашего прибора

не позволяет все их рассмотреть. Спектр натриевой лампы исследуется по аналогичной схеме, но светофильтр в этом случае не нужен, а интерферометр, линзы и зрительная труба катетометра имеют другие параметры.

3. Параметры установки

Длина волны источников:

$$\lambda_{hg} = 5461 \text{ \AA}$$

$$\lambda_{na} = 5893 \text{ \AA}$$

$$\langle \lambda_{hg} \rangle = 5780 \text{ \AA}$$

Погрешность измерения диаметра колец:

$$d_{err} = 0.002$$

Фокусные расстояния линз:

$$f_{hg} = 110 \text{ мм}$$

$$f_{0hg} = 50 \text{ мм}$$

$$f_{na} = 94 \text{ мм}$$

Расчетные величины:

$L = 0.1 \text{ мм}$ - расчетная база интерферометра

$$\lambda_{grn} = 5600 \text{ \AA}$$

$$\lambda_{ylw} = 5800 \text{ \AA}$$

$r = 0.85$ - коэффициент отражения

4. Обработка результатов

4.1. Ртутная лампа

Построим график зависимости $d_i^2 = F(i)$ для зеленой линии ртути ($\lambda(Hg) = 5461 \cdot 10^{-10} \text{ м}$), по наклону прямой рассчитаем базу L интерферометра, используя:

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{1}{4f^2} k$$

$$L = \frac{\lambda \cdot 4f^2}{k}$$

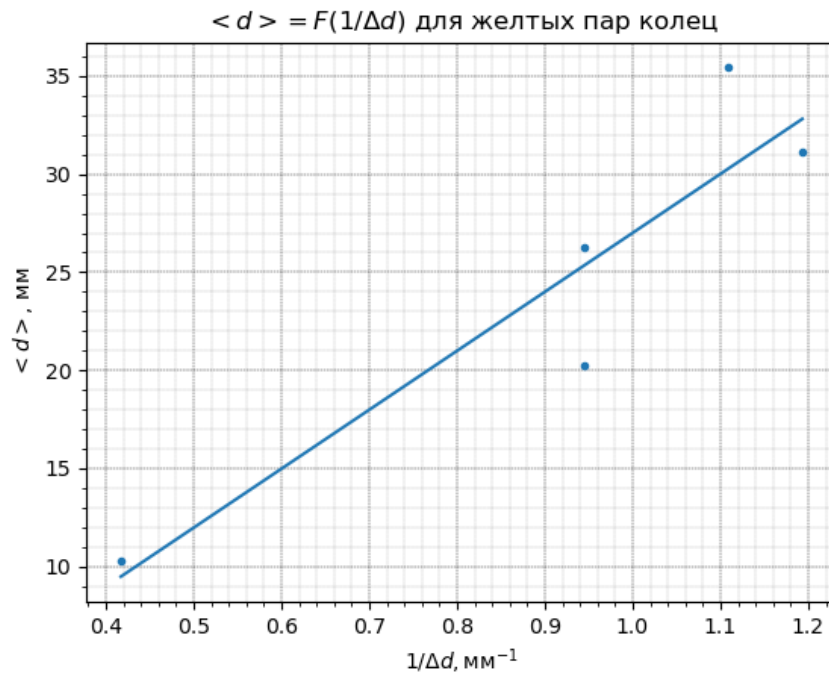
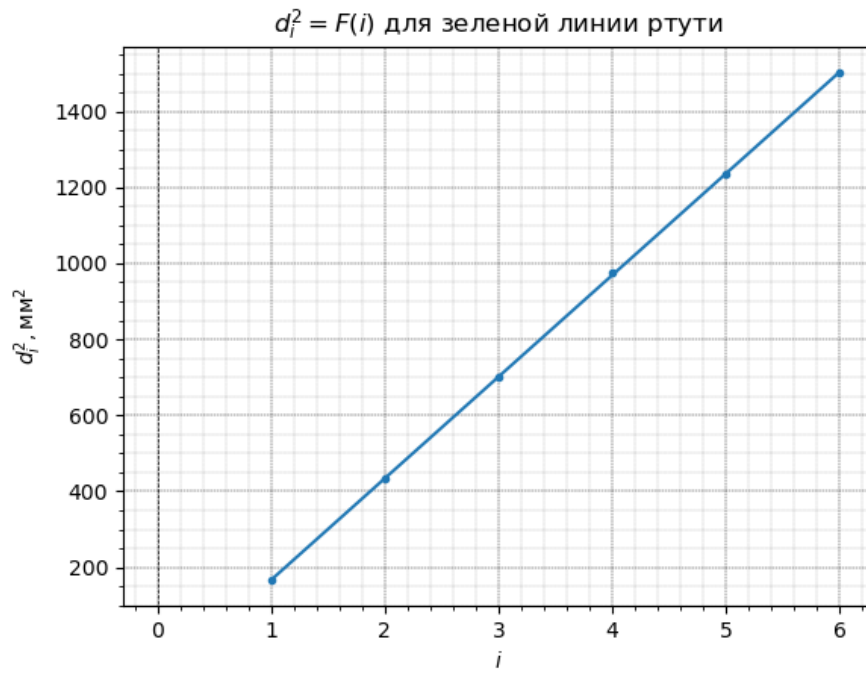
При подсчете угла наклона и его погрешности воспользуемся МНК. Погрешность квадрата диаметра равна 0.004 мм^2 .

$$k_{grn} = (267 \pm 1) \text{ мм}^2$$

$$L = (0.0988 \pm 0.0004) \text{ мм}$$

Далее рассчитаем средние диаметры $\langle d \rangle$ для желтых пар колец ртути и их разности диаметров Δd . Построим график зависимости $\langle d \rangle = F(1/\Delta d)$. По углу наклона прямой рассчитаем разность длин волн $\Delta \lambda$

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda \langle d \rangle \Delta d}{4f^2}$$



$$\langle d \rangle = \frac{\Delta \lambda 4 f^2}{\lambda} \cdot 1/\Delta d$$

$$k_{ylw} = (30 \pm 7) \text{мм}^2$$

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda k}{4 f^2} = (3.6 \pm 0.9) \cdot 10^{-7} \text{мм}$$

Теперь оценим экспериментальное значение линейной дисперсии интерферометров, используя разность диаметров и разность длин волн желтых пар.

$$D_{\text{эксп}} = \frac{\delta r}{\Delta \lambda} = \frac{1.167}{3.6} = (0.33 \pm 0.08) \text{ мм}/\text{\AA}$$

$$D_{\text{теор}} = \frac{f^2}{\lambda \cdot r} = \frac{110^2}{5461 \cdot 4.536} = (0.4884 \pm 0.0002) \text{ мм}/\text{\AA}$$

Оценим аппаратную разрешающую способность, рассчитав $\delta \lambda$ через диаметр кольца d и его ширину δr :

$$R_{\text{аппЗел}} \approx \frac{4f^2}{d \cdot \delta r} = \frac{4 \cdot 110^2}{12.84 \cdot 0.53} = (7164 \pm 55)$$

$$R_{\text{аппЖел}} \approx \frac{4f^2}{d \cdot \delta r} = \frac{4 \cdot 110^2}{9.07 \cdot 1.17} = (4572 \pm 16)$$

Оценим число интерферирующих лучей:

$$m = \frac{2L}{\lambda}$$

$$R_{\text{апп}} = m \cdot N$$

	зелёный	жёлтый
m	357	344
N	20	13

Рассчитаем теоритические значения добротности интерферомтеров, приняв коэффициент отражения 0.85 и оценим число интерферирующих лучей:

$$R = \frac{\lambda}{\delta \lambda} = \frac{\pi \sqrt{r}}{1 - r} m$$

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

	зелёный	жёлтый
Q	7133	7387
σ_Q	27	29

$$N = \frac{Q}{m_{ylw}} = 21$$

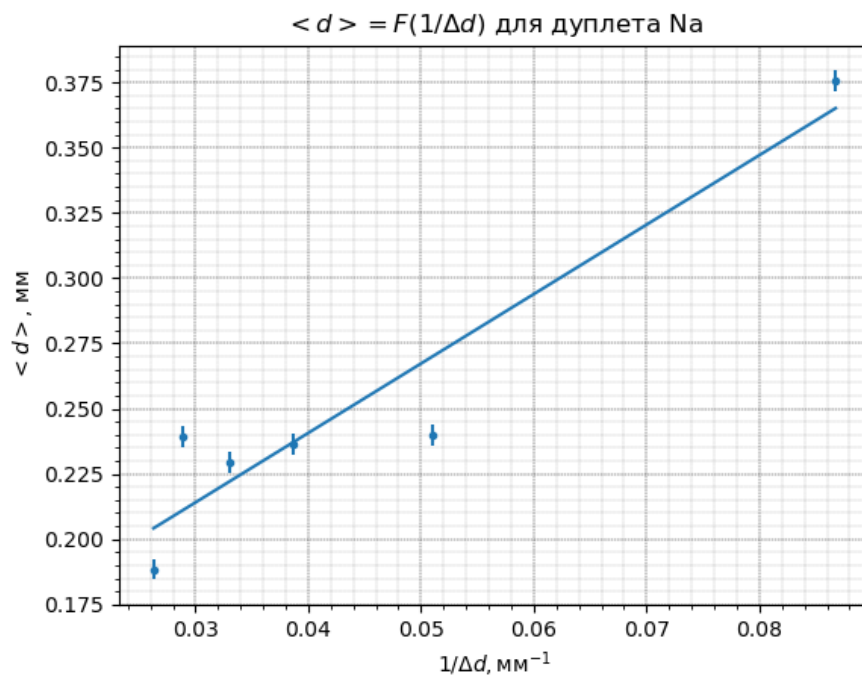
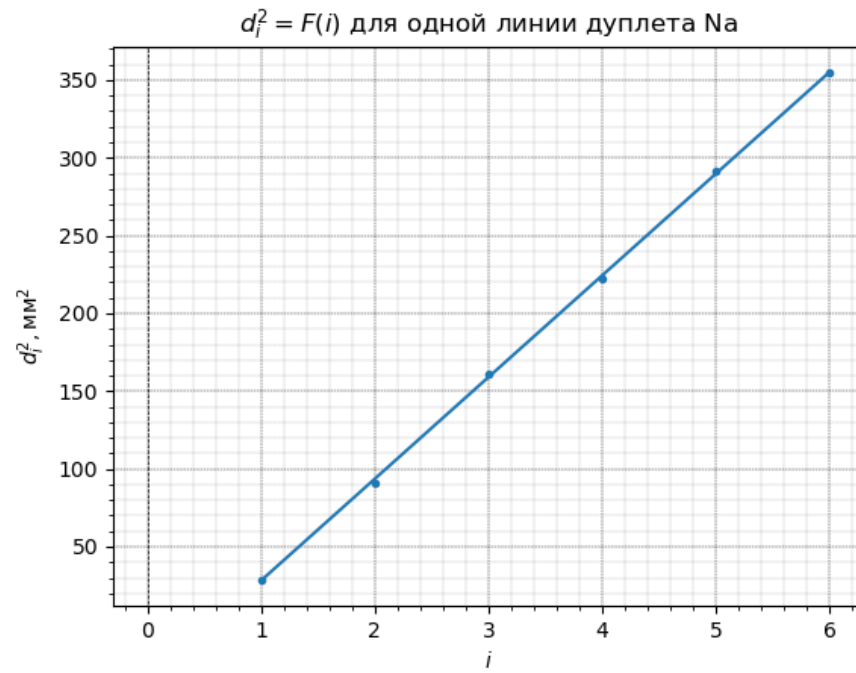
4.2. Натриевая лампа

Теперь произведем те же расчеты для натриевой лампы:

$$k_{n_{ylw}} = (65.5 \pm 0.5) \text{ мм}^2$$

$$L = (0.318 \pm 0.003) \text{ мм}$$

$$k_{ylw} = (10 \pm 3) \text{ мм}^2$$



$$\Delta\lambda = \frac{\lambda k}{4f^2} = (1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-7} \text{ мм}$$

$$D_{\text{эксп}} = \frac{\delta r}{\Delta\lambda} = \frac{0.329}{1.67} = (0.19 \pm 0.05) \text{ мм}/\text{\AA}$$

$$D_{\text{теор}} = \frac{f^2}{\lambda \cdot r} = \frac{94^2}{5893 \cdot 2.69} = (0.5567 \pm 0.0004) \text{ мм}/\text{\AA}$$

$$R \approx \frac{4f^2}{d \cdot \delta r} = \frac{4 \cdot 94^2}{5.39 \cdot 0.33} = (19942 \pm 242)$$

Оценим число интерферирующих лучей:

$$m_{ylw} = \frac{2L}{\lambda} = 344$$

$$R_{\text{апп}} = m \cdot N$$

$$N = 57$$

$$Q = \frac{2\pi L}{\lambda(1-r)} = (22982 \pm 187)$$

$$N = \frac{Q}{m_{ylw}} = 66$$

5. Заключение

В ходе работы были определены спектральные характеристики интерферометров Фабри-Перо для двух источников света, ртутной и натриевой ламп:

	$D_{\text{эксп}}, \text{ мм}/\text{\AA}$	$D_{\text{теор}}, \text{ мм}/\text{\AA}$	$R_{\text{зел}}$	$R_{\text{желт}}$	$\Delta\lambda, \text{\AA}$	$L, \text{ мм}$
Hg	0.33 ± 0.08	0.48	7164 ± 55	4572 ± 16	3.6 ± 0.9	0.099
Na	0.19 ± 0.05	0.55	-	19942 ± 242	1.7 ± 0.5	0.318

Для желтых колец натрия, вероятно, мы получили неверное значение, тк оно слишком сильно расходится со значением вычисляемым по формуле $R = \lambda/\Delta\lambda = 4800$ для предельного случая погрешности $\Delta\lambda$.