

Московский Физико-Технический Институт
(национальный исследовательский университет)

Лабораторная работа №4.4.4
Интерферометр Фабри-Перо

Баканова К.В., Б01-003
февраль 2022 г.

1 Аннотация

В данной работе проводится измерение длины волны жёлтых линий ртути, жёлтого дублета натрия, а также определение спектральных характеристик интерферометра Фабри—Перо.

2 Теоретические сведения

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).

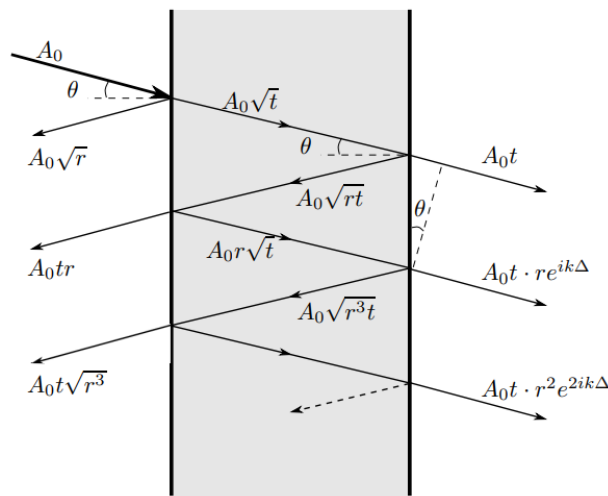


Рис. 1: Прохождение волны через интерферометр Фабри—Перо

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:

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

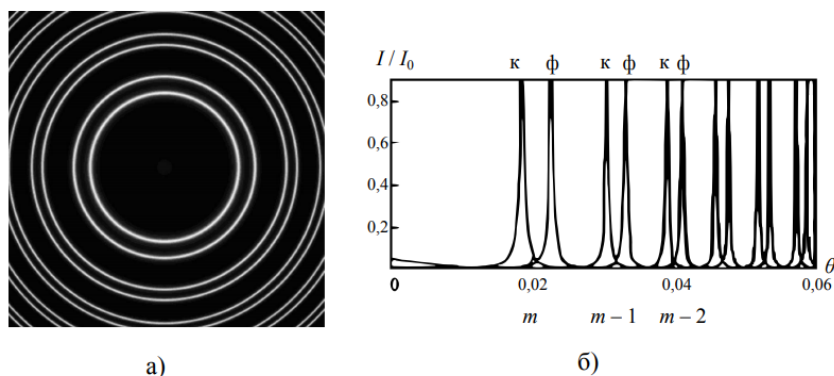


Рис. 2: а) Наблюдаемая интерференционная картина; б) Зависимость интенсивности света от угла θ

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

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

2.1 Натриевая лампа

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.

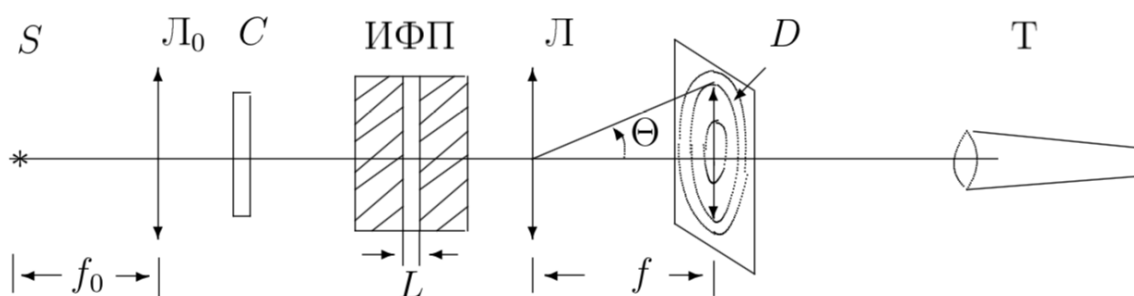


Рис. 3: Экспериментальная установка

Зрительная труба и отсчетный микроскоп — элементы катетометра — прибора, предназначенного для измерения расстояний в вертикальной плоскости вдоль вертикальной оси. 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 Ход работы

3.1 Ртутная лампа

После настройки интерферометра проведем измерения диаметров зеленых и желтых интерференционных колец с помощью катетометра, оценивая его погрешность измерения как $\sigma_l = 0,3$ мм. Параметр установки — фокусное расстояние линзы $f = 110$ мм. Будем последовательно измерять расстояния l_1 от верхнего края 6-ого «набора» колец до нуля до центра, затем аналогично будем измерять расстояния l_2 от нижнего края до нуля. Результаты занесем в таблицы.

Таблица 1: Измерение диаметров зеленых колец ртутной лампы

N	l_1 , мм	l_2 , мм	d_i^2 , $\mu\text{м}^2$	σ_d , мм
1	167.61	179.85	1.5	0.01
2	163.87	183.55	3.88	0.03
3	161.19	186.11	6.21	0.05
4	159.16	188.15	8.4	0.07
5	157.39	189.96	10.61	0.09
6	155.82	191.55	12.77	0.11

Таблица 2: Измерение диаметров желтых колец ртутной лампы

N	l_1 , мм	l_2 , мм	d , мм	\bar{d} , мм	σ_d , мм	Δd , мм	$1/\Delta d$, мм^{-1}	$\sigma_{1/\Delta d}$, мм^{-1}
1	170.38	176.93	6.55	6.55	0.42	0	-	-
2	166.66	180.88	14.22	15.78	0.42	3.12	0.32	0.04
	164.94	182.275	17.33					
3	162.94	184.27	21.33	22.31	0.42	1.97	0.51	0.08
	161.995	185.295	23.3					
4	160.53	186.85	26.315	27.15	0.42	1.68	0.6	0.12
	159.7	187.69	27.99					
5	158.36	188.95	30.585	30.96	0.42	1.35	0.74	0.18
	157.69	189.03	31.34					
6	156.62	190.66	34.045	34.61	0.42	1.11	0.9	0.24
	156.09	191.24	35.155					

При этом погрешность $\sigma_{1/\Delta d}$ мы оценивали как $\sigma_{1/\Delta d} = \frac{\sigma_{\Delta d}}{\Delta d} \frac{1}{\Delta d}$.

Построим графики для зеленых и желтых колец:

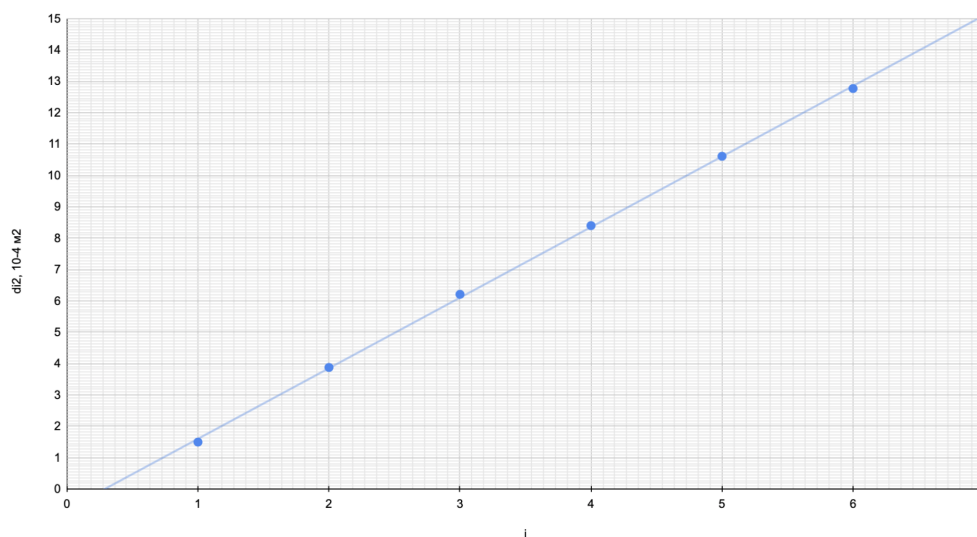


Рис. 4: График зависимости d_i^2 от i зеленых линий Hg

Из полученных данных $a = \frac{\Delta(d_i^2)}{\Delta(i)} = (2,25 \pm 0,02) 10^{-4} \text{ м}^2$ рассчитаем базу L интерферометра, взяв $\lambda(Hg) = 5461 \text{ Å}$:

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{a}{4f^2} \rightarrow L = (0,117 \pm 0,001) \text{ мм} \quad (1)$$

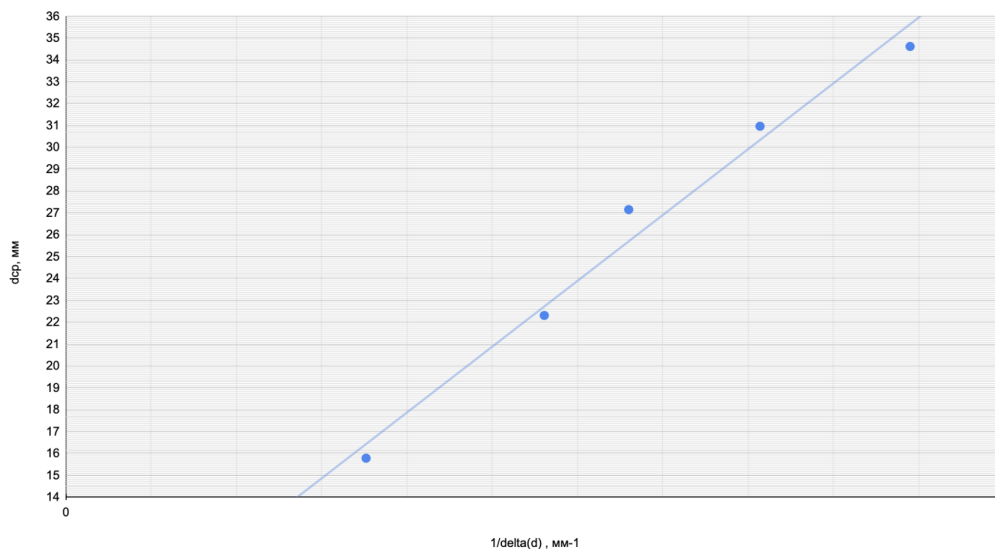


Рис. 5: График зависимости \bar{d} от $\frac{1}{\Delta d}$ желтых линий Hg

Из полученных данных $a = \bar{d}\Delta d = (33,1 \pm 2,7)10^{-6} \text{ м}^2$ рассчитаем разность длин волн $\Delta\lambda$ интерферометра, взяв $\lambda(Hg) = 5780 \text{ Å}$:

$$\Delta\lambda = \left(\frac{\lambda a}{4f^2}\right) = (3,9 \pm 0,3)\text{Å}$$

3.2 Натриевая лампа

Проведем аналогичные измерения, сначала взяв одно из колец дублета («дальнее» от центра), а затем для дублета. Фокусное расстояние $f = 94$. Результаты занесем в таблицу и построим графики.

Таблица 3: Измерение диаметров натриевых колец ртутной лампы

N	$l_1, \text{ мм}$	$l_2, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$d_i^2, \text{ }^2$	$\bar{d}, \text{ мм}$	$\sigma_d, \text{ мм}$	$\Delta d, \text{ мм}$	$1/\Delta d, ^{-1}$	$\sigma_{1/\Delta d}, ^{-1}$
1	148.89	140.49	8.4	0.71	—		-		
2	152.29	137.27	15.03	2.26	16.14	0.59	2.22	0.45	0.05
	153.4	136.15	17.25						
3	155.29	134.13	21.16	4.48	21.97	0.59	1.61	0.62	0.07
	156.08	133.31	22.77						
4	157.62	131.77	25.85	6.68	26.46	0.59	1.22	0.82	0.09
	158.22	131.15	27.07						
5	159.61	129.85	29.76	8.86	30.33	0.59	1.13	0.88	0.12
	160.16	129.27	30.89		0				
6	161.17	128.11	33.06	10.93	33.56	0.59	1.01	0.99	0.14
	161.71	127.65	34.07						

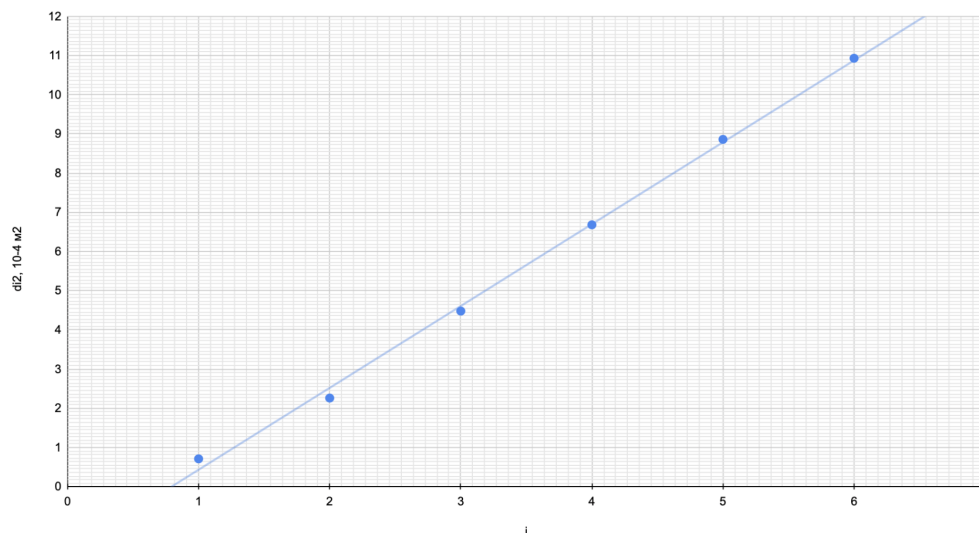


Рис. 6: График зависимости d_i^2 от i одной из линии дублета Na

Из полученных данных $a = \frac{\Delta(d_i^2)}{\Delta(i)} = (2,09 \pm 0,05) 10^{-4} \text{ м}^2$ рассчитаем базу L интерферометра, взяв $\lambda(Hg) = 5893 \text{ Å}$:

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{a}{4f^2} \rightarrow L = (0,100 \pm 0,002) \text{ мм} \quad (2)$$

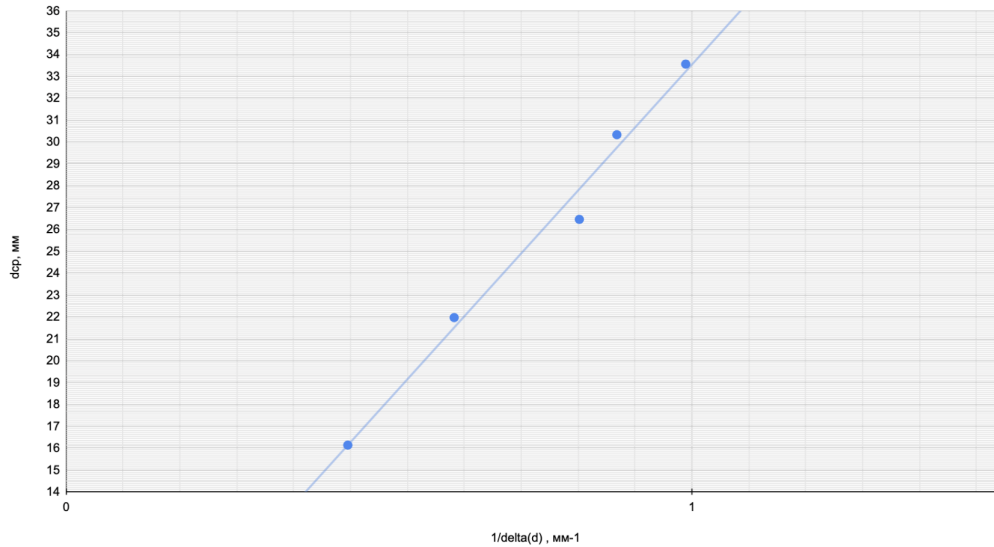


Рис. 7: График зависимости \bar{d} от $\frac{1}{\Delta d}$ линий Na

Из полученных данных $a = \bar{d}\Delta d = (33,6 \pm 2,1) 10^{-6} \text{ м}^2$ рассчитаем разность длин волн $\Delta\lambda$ интерферометра, взяв $\lambda(Hg) = 5893 \text{ Å}$:

$$\Delta\lambda = \left(\frac{\lambda a}{4f^2}\right) = (5,6 \pm 0,4) \text{ Å}$$

3.3 Дополнительные расчеты

Сравним теоретические и экспериментальные значения линейной дисперсии интерферометра:

Таблица 4: Сравнение линейной дисперсии

$\Delta d, \text{ мм}$	$D, \text{ мм/Å}$	$\bar{d}, \text{ мм}$	$D, \text{ мм/Å}$	$\langle -Hg \text{ Na} - \rangle$	$\Delta d, \text{ мм}$	$D, \text{ мм/Å}$	$\bar{d}, \text{ мм}$	$D, \text{ мм/Å}$
3.12	0.39	15.78	0.27		2.22	0.2	16.14	0.19
1.97	0.25	22.32	0.19		1.61	0.14	21.97	0.14
1.68	0.21	27.15	0.15		1.22	0.11	26.46	0.11
1.35	0.17	30.96	0.14		1.13	0.1	30.33	0.1
1.11	0.14	34.6	0.12		1.01	0.09	33.56	0.09

Расчеты по формуле:

$$D_e = \frac{\Delta d}{2\Delta\lambda}, \quad D_t = \frac{2f^2}{\lambda\bar{d}}$$

Рассчитаем аппаратную разрешающую способность:

$$R_a = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \simeq \frac{4f^2}{d\delta r}$$

Для ртути $R_a = 5,510^{-3}$, для натрия $R_a = 7,110^{-3}$.

4 Вывод

В данной работе мы провели исследование спектров ртути и натрия, измерение длины волны жёлтых линий ртути, жёлтого дублета натрия, а также определили спектральные характеристики интерферометра Фабри—Перо.