

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Факультет общей и прикладной физики

Лабораторная работа № 4.4.4
(Общая физика: оптика)

Интерферометр Фабри-Перо

Работу выполнил:
Иванов Кирилл, 625 группа

г. Долгопрудный
2018 год

Цель работы:**Оборудование:****1. Экспериментальная установка**

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.

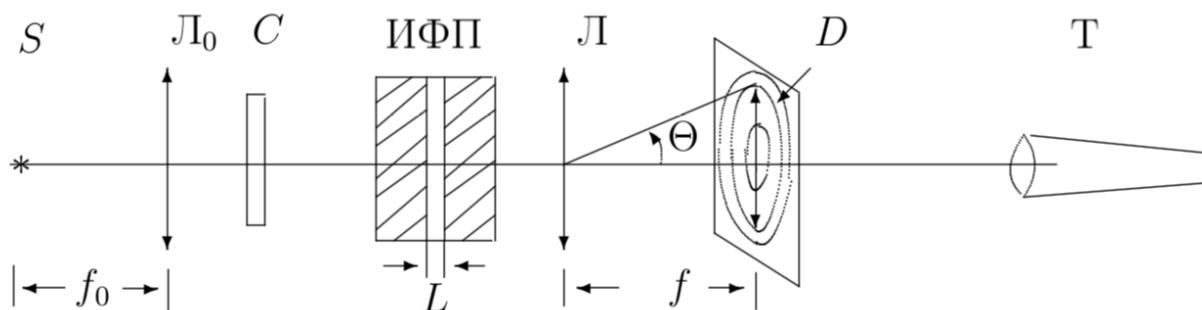


Рис. 1: Экспериментальная установка

Зрительная труба T 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.

2. Ход работы**2.1 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.

Таблица 1: Измерение диаметров зеленых колец ртутной лампы

N	l_1 , мм	l_2 , мм	d_i^2 , мм 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					

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.

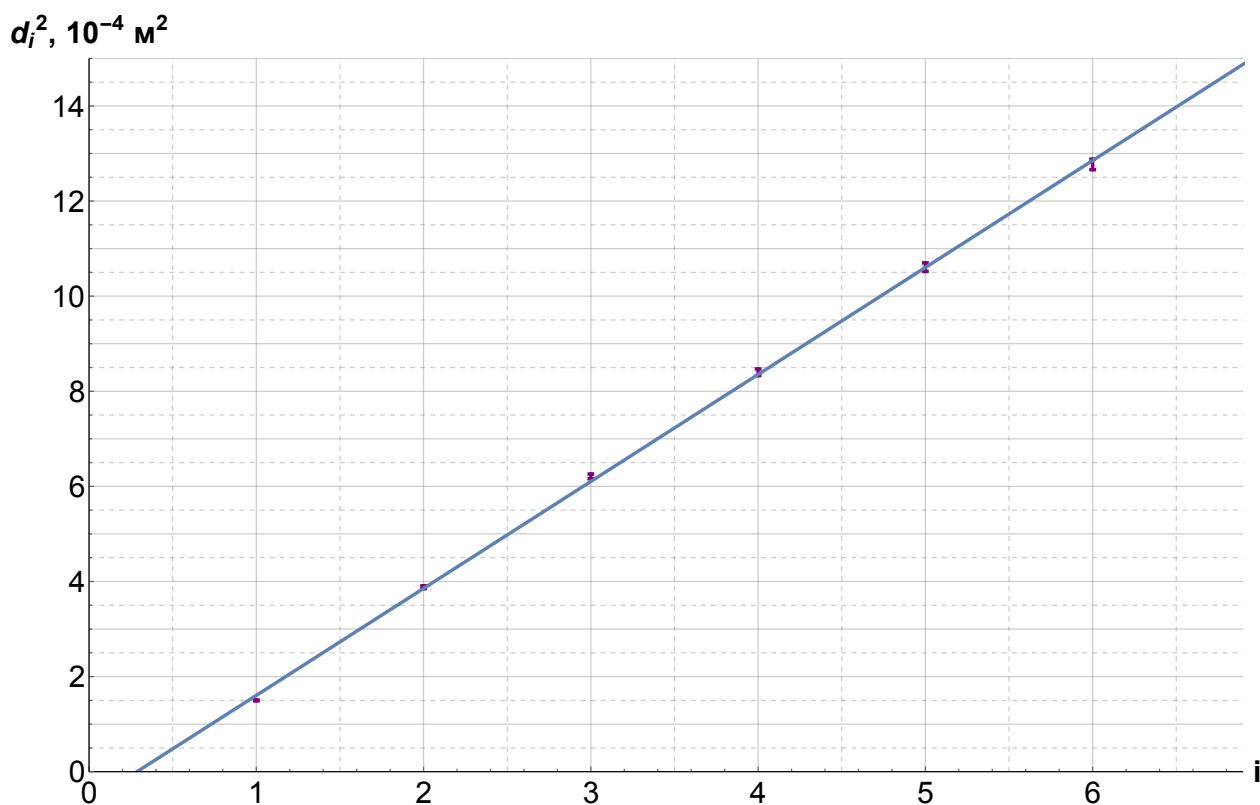
При этом погрешность $\sigma_{1/\Delta d}$ мы оценивали как $\sigma_{1/\Delta d} = \frac{\sigma_{\Delta d}}{\Delta d} \cdot \frac{1}{\Delta d}$.

Построим графики для зеленых и желтых колец:

Из полученных данных $a = \frac{\Delta(d_i^2)}{\Delta(i)} = (2,25 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$ м² рассчитаем базу L интерферометра, взяв $\lambda(Hg) = 5461 \text{ \AA}$:

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{a}{4f^2} \Rightarrow L = 0,117 \pm 0,001 \text{ мм}$$

Из полученных данных $a = \bar{d}\Delta d = (33,1 \pm 2,7) \cdot 10^{-6}$ м² рассчитаем разность длин волн $\Delta\lambda_p$ интерферометра, взяв $\lambda(Hg) = 5780 \text{ \AA}$:

Рис. 2: График зависимости d_i^2 от i зеленых линий Hg Таблица 3: Расчет аппроксимированной прямой $y = ax + b$

	Estimate	Standard Error
a	2.25	0.02
b	-0,64	0.08

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

2.2 Натриевая лампа

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

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

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

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

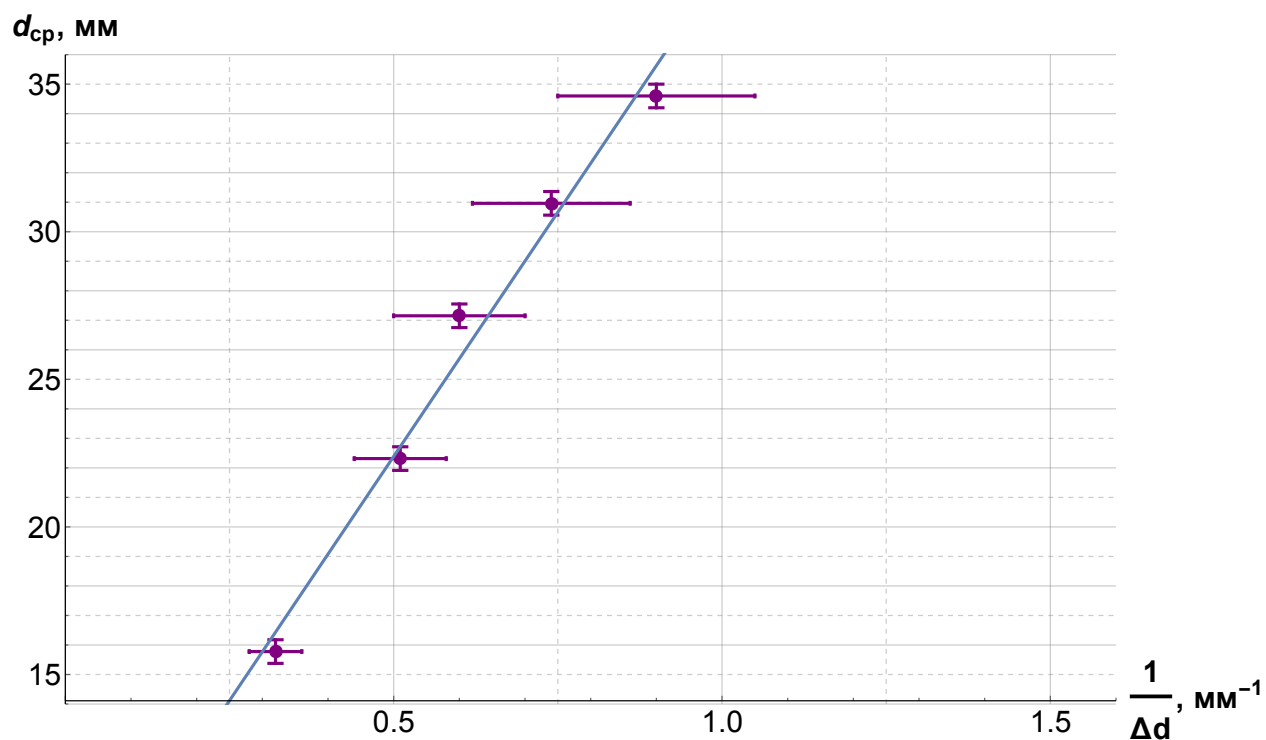


Рис. 3: График зависимости \bar{d} от $\frac{1}{\Delta d}$ желтых линий Hg

Таблица 4: Расчет аппроксимированной прямой $y = ax + b$

	Estimate	Standard Error
a	33,1	2,7
b	5,8	1,7

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

2.3 Дополнительные расчеты

Сравним теоретические и экспериментальные значения линейной дисперсии интерферометра:

Расчеты по формуле:

$$D_{\text{э}} = \frac{\Delta d}{2\Delta\lambda}, \quad D_{\text{т}} = \frac{2f^2}{\lambda\bar{d}}$$

Рассчитаем аппаратную разрешающую способность:

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

Для ртути $R_a = 5,5 \cdot 10^{-3}$, для натрия $R_a = 7,1 \cdot 10^{-3}$.

Таблица 5: Измерение диаметров натриевых колец ртутной лампы

N	$l_1, \text{ мм}$	$l_2, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$d_i^2, \text{ мм}^2$	$\bar{d}, \text{ мм}$	$\sigma_d, \text{ мм}$	$\Delta d, \text{ мм}$	$1/\Delta d, \text{ мм}^{-1}$	$\sigma_{1/\Delta d}, \text{ мм}^{-1}$
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						

Таблица 6: Расчет аппроксимированной прямой $y = ax + b$

	Estimate	Standard Error
a	2.09	0.05
b	-1,65	0.19

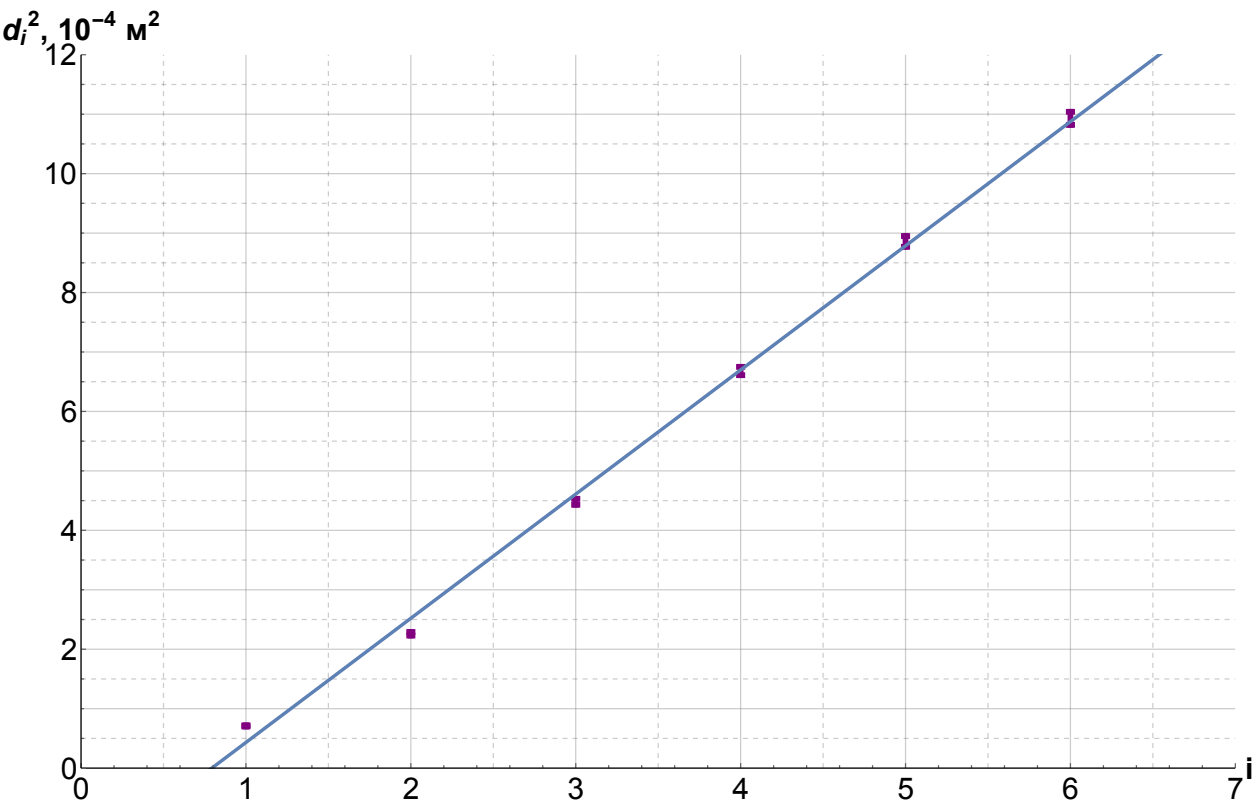


Рис. 4: График зависимости d_i^2 от i одной из линии дублета Na

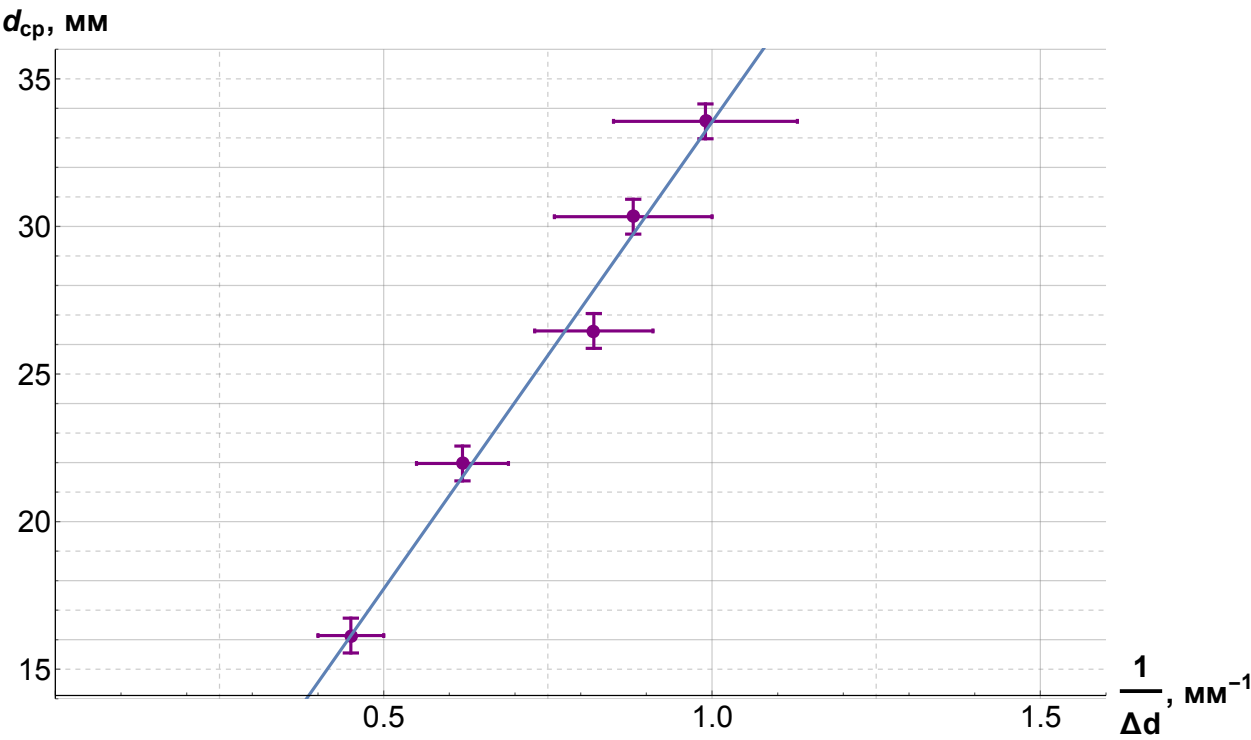


Рис. 5: График зависимости \bar{d} от $\frac{1}{\Delta d}$ линий Na

Таблица 7: Расчет аппроксимированной прямой $y = ax + b$

	Estimate	Standard Error
a	33,6	2,1
b	1,8	0,7

Таблица 8: Сравнение линейной дисперсии

$\Delta d, \text{мм}$	$D_{\text{э}}, \text{мм}/\text{\AA}$	$\bar{d}, \text{мм}$	$D_{\text{т}}, \text{мм}/\text{\AA}$	$\langle -Hg \ Na- \rangle$	$\Delta d, \text{мм}$	$D_{\text{э}}, \text{мм}/\text{\AA}$	$\bar{d}, \text{мм}$	$D_{\text{т}}, \text{мм}/\text{\AA}$
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