

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Факультет молекулярной и химической физики

Лабораторная работа №13

**«Изучение электронно-колебательных спектров поглощения
двухатомных молекул на примере молекулы I_2 »**

Выполнили:
студенты 3 курса
642 группы ФМХФ
Шадымов Владимир
Георгий Демьянов

Москва 2019

Аннотация

В этом отчёте изложены результаты выполнения лабораторной работы «Кольца Ньютона». В установке кольца Ньютона образуются при интерференции световых волн, отражённых от границ тонкой воздушной прослойки, заключённой между выпуклой поверхностью линзы и плоской стеклянной пластинкой. Линии постоянной разности хода представляют собой концентрические кольца с центром в точке соприкосновения. Наблюдение ведётся в отраженном свете. С помощью микроскопа мы измеряем радиусы темных и светлых колец.

Содержание

1	Введение	4
2	Теоретическое введение	5
3	Экспериментальная установка	6
4	Обработка результатов	7
5	Заключение	10

Введение

Цель работы: исследовать явление интерференции на тонких пленках на примере колец Ньютона. Проверить теоретическую зависимость радиуса колец Ньютона от их порядкового номера. Измерить кривизну линзы.

Оборудование: измерительный микроскоп с опак-иллюминатором, плосковыпуклая линза, пластинка из черного стекла, ртутная лампа ДРШ-250, щель, линзы, призма прямого зрения, объектная шкала.

Теоретическое введение

В данном опыте интерференция возникает между лучами, отраженными от нижней пластинки и от кривой поверхности. Геометрическая разность хода между интерферирующими лучами равна удвоенной толщине воздушного зазора $2d$.

Для точки на сферической поверхности, находящейся на расстоянии r , имеем $r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2$, где R – радиус кривизны сферической поверхности (рис. 1).

При $R \gg d$ получим $d = \frac{r^2}{2R}$. С учетом изменения фазы на π при отражении волны от оптически более плотной среды получим оптическую разность хода интерферирующих лучей:

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}.$$

Условие интерференционного минимума

$\Delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$; ($m = 0, 1, 2, \dots$), откуда получаем для радиуса темных колец

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}. \quad (1)$$

Аналогично для радиусов r'_m светлых колец

$$r'_m = \sqrt{\frac{(2m - 1)\lambda R}{2}}. \quad (2)$$

Таким образом, в отраженном свете центр колец темный (рис. 2). Заметим, что радиусы колец зависят от длины волны. Поэтому необходимо работать с достаточно узкой частью спектра, выделяя её светофильтрами, или подбирать источник света, который генерирует излучение в узкой части спектра. Последний способ используется в данной работе. Если же свет немонохроматический, то каждое кольцо будет иметь разную окраску в разных его точках.

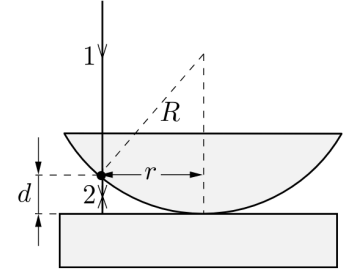


Рис. 1. – Схема наблюдения колец Ньютона

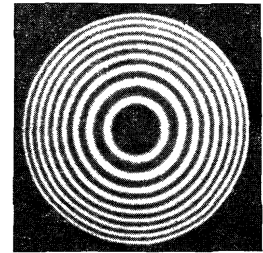


Рис. 2. – Кольца Ньютона в отраженном свете [1]

Экспериментальная установка

В эксперименте используется установка, изображенная на рис. 3. Источником света служит ртутная лампа. Длины волн ярких линий в спектре ртутной лампы: $\lambda_1 = 579,07$ (желтый); $\lambda_2 = 546,07$ (зеленый). Данные взяты из [2] — с. 438. Кольца Ньютона в данной работе наблюдаем в желтом цвете.

Пучок света, излучаемый лампой, собирается конденсором K в щель S и преобразуется коллиматором (щель S и объектив O) в параллельный пучок. Параллельный пучок разлагается призмой прямого зрения на желтый и зеленый. Желтый свет направляется в опак-иллюминатор $OИ$. Внутри опак-иллюминатора свет частично отражается от полупрозрачной пластинки P , проходит через объектив микроскопа и попадает на линзу. Свет, отраженный от зеркала под линзой, проходит обратно через объектив, полупрозрачную пластинку и окуляр. Так можно наблюдать кольца Ньютона в отраженном свете (рис. 2). Приборная погрешность измерения шкалы окуляра: $\sigma_m = 0,03$ мм.

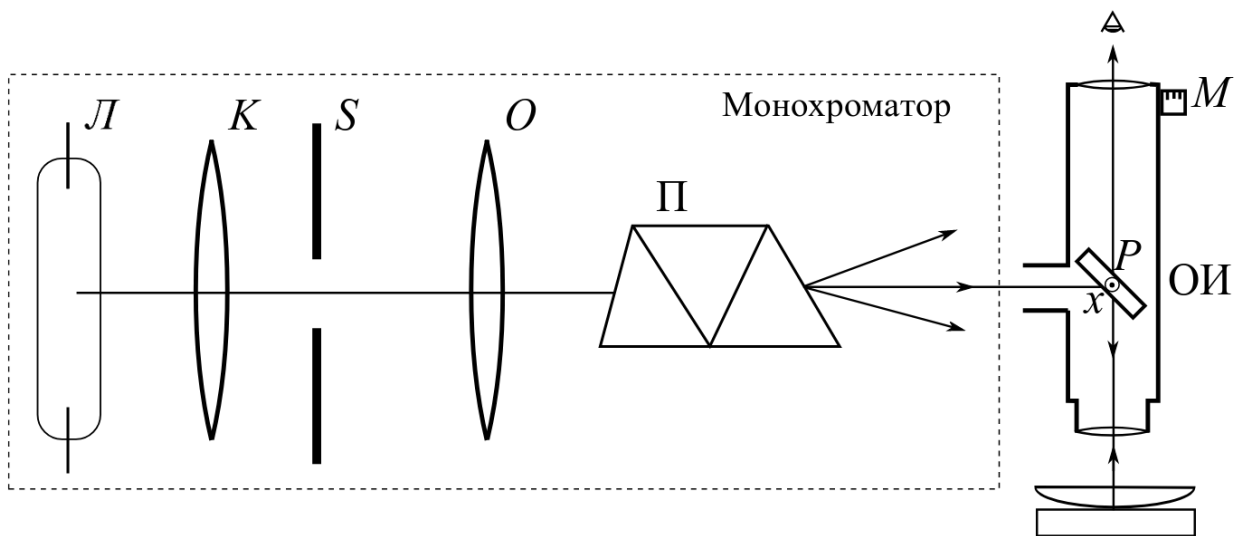


Рис. 3. Схема установки для наблюдения колец Ньютона: L — лампа, K — конденсор, S — щель, Π — призма прямого зрения, $OИ$ — опак-иллюминатор, P — полупрозрачная пластинка.

Обработка результатов

Необходимо проверить зависимость $r_m^2(m)$ для темных и светлых колец, где r_m – радиус кольца порядка m . Приборная погрешность измерения шкалы окуляра: $\sigma_r = 3 \cdot 10^{-2}$ мм¹.

Измеренные с установки данные занесем в таблицу 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные

Темные кольца		Светлые кольца	
m	$r_m, 10^{-2}$ мм	m	$r_m, 10^{-2}$ мм
1	9	1	7
2	13	2	11
3	15	3	14
4	17	4	16
5	19	5	18
6	20	6	20
7	22	7	21
8	24	8	23

Погрешность r_m^2 найдем по формуле:

$$\sigma_{r^2} = \left| \frac{\partial r_m^2}{\partial r_m} \right| \sigma_r = 2r_m \sigma_r.$$

Пересчитаем данные в удобные для обработки. Полученные результаты занесем в таблицу 2.

Таблица 2. Обработанные результаты

Темные кольца			Светлые кольца		
m	$r_m^2, 10^{-3}$ мм ²	$\sigma_{r^2}, 10^{-3}$ мм ²	m	$r_m^2, 10^{-3}$ мм ²	$\sigma_{r^2}, 10^{-3}$ мм ²
1	8	2	1	5	1
2	16	3	2	11	2
3	22	3	3	19	3
4	29	3	4	24	3
5	35	4	5	32	4
6	42	4	6	39	4
7	49	4	7	45	4
8	58	5	8	52	5

Согласно теории (формулы (1) и (2)) квадрат радиуса кольца r_m^2 линейно зависит от его номера m . Оценим² эту зависимость через коэффициент корреляции Пирсона.

- Для темных колец: $\rho_{dark} = 0,9991$; уровень значимости $p < 1\%$.
- Для светлых колец: $\rho_{light} = 0,9994$; уровень значимости $p < 1\%$.

Видно, что данные сильно коррелируют. Построим³ графики зависимостей $r_m^2(m)$ для темных и светлых колец (рис. 4). Проведем⁴ МНК для этих зависимостей. Согласно теории необходимо наложить некоторые ограничения на регрессию. Для темных колец проводим МНК через точку $r_m^2 = 0, m = 0$ (1); для светлых – $r_m^2 = 0, m = \frac{1}{2}$ (2).

¹Так как не было возможности измерить радиус кольца m -го порядка несколько раз, для оценки случайной погрешности, то далее при расчетах будем использовать приборную погрешность как полную погрешность радиуса.

²Расчеты коэффициентов проводились с помощью библиотеки [Scipy](#).

³Графики построены с помощью библиотеки [Matplotlib](#).

⁴Регрессия методом наименьших квадратов вычислена с помощью библиотеки [Statsmodels](#).

- Из МНК для темных колец по формуле (1): $\lambda R_1 = (7,15 \pm 0,09) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$.
- Из МНК для светлых колец по формуле (2): $\lambda R_2 = (6,99 \pm 0,08) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$.

Сделаем проверку на выбросы, считая статистику для критерия Стьюдента следующим образом:

$$S_m = \frac{r_m^2 - \mu_0}{\sigma_{r_m^2} / \sqrt{n}} \sim t(n_\Sigma - 2),$$

где r_m^2 – квадрат радиус m -го кольца; μ_0 – значение регрессии в данной точке; $\sigma_{r_m^2}$ – среднее квадратичное отклонение в данной точке, ошибка; n – число измерений в данной точке, в данном случае равно 1; n_Σ – полное число измерений, в данном случае равно 8. Есть два зависимых параметра (степени свободы): коэффициент регрессии МНК через фиксированную точку, оценочное среднее квадратичное отклонение. Соответствующие уровни значимости⁵ занесем в таблицу 3. Считаем критический уровень значимости 5%.

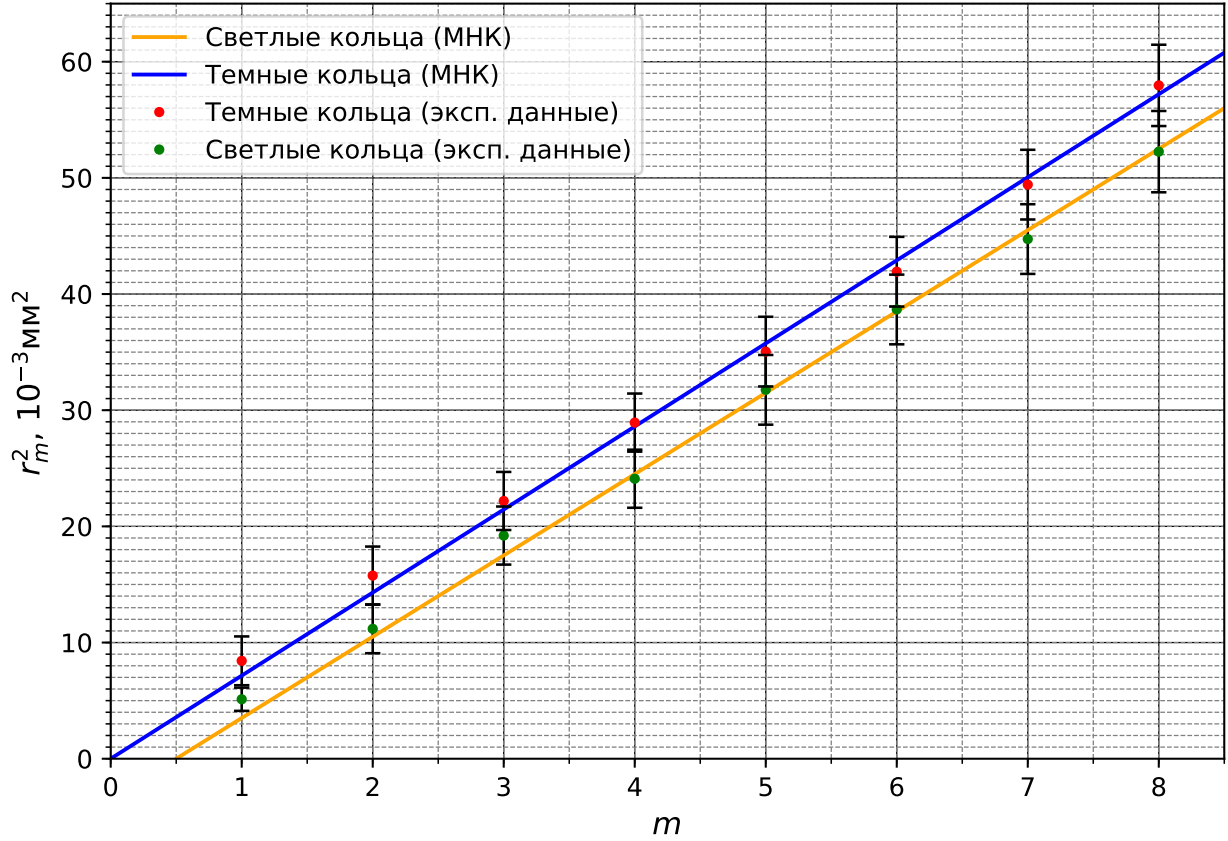


Рис. 4. Зависимость квадрата радиуса колец $r_m^2(m)$ от порядкового номера m .

Таким образом, выбросов не оказалось. Вычислим радиус кривизны линзы.

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

Соответствующая погрешность:

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{R_{\text{rand}}}^2 + \sigma_{R_{\text{indirect}}}^2}.$$

⁵Расчеты уровней значимости проводились с помощью библиотеки [Scipy](#).

Таблица 3. Значения статистик и уровней значимости

Темные кольца					Светлые кольца				
m	$r_m^2, 10^{-3} \text{ мм}^2$	S_m	$p\text{-value}$	Итог	m	$r_m^2, 10^{-3} \text{ мм}^2$	S_m	$p\text{-value}$	Итог
1	8	0,696	0,256	Не выброс	1	5	1,020	0,174	Не выброс
2	16	0,583	0,291	Не выброс	2	11	0,176	0,433	Не выброс
3	22	0,247	0,407	Не выброс	3	19	0,451	0,334	Не выброс
4	29	0,098	0,462	Не выброс	4	24	0,324	0,378	Не выброс
5	35	0,189	0,428	Не выброс	5	32	0,142	0,446	Не выброс
6	42	0,239	0,410	Не выброс	6	39	0,188	0,429	Не выброс
7	49	0,142	0,446	Не выброс	7	45	0,432	0,340	Не выброс
8	58	0,158	0,440	Не выброс	8	52	0,318	0,381	Не выброс

Получаем $R = (1,22 \pm 0,03)$ см. Значение со среднеквадратичным отклонением.

Так как было два измерения радиуса, то доверительному интервалу с вероятностью 0,95, соответствует коэффициент Стьюдента $t(1 - 0,95; 2) = 4,3$. Итоговое значение радиуса с вероятностью 0,95 находится в интервале: $R = (1,22 \pm 0,12)$ см.

Заключение

- Данный эксперимент с достаточно высокой точностью подтверждает теоретическую зависимость радиуса колец Ньютона от их порядкового номера $r_m(m)$. Уровни значимости корреляции $p < 1\%$.
- Радиус кривизны линзы: $R = (1,22 \pm 0,12)$ см. Относительная ошибка $\varepsilon = 9,8\%$.

Список литературы

- [1] Кириченко Н. А. Принципы оптики. Москва: МФТИ, 2016.
- [2] Максимычев А.В., Александров Д.А., Брюлёва Н.С. и др. Лабораторный практикум по общей физике: Учебное пособие. В трех томах. Т. 2. Оптика. Москва: МФТИ, 2014.