

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря СІКОРСЬКОГО»  
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

# Протокол до лабораторної роботи **КІЛЬЦЯ НЬЮТОНА**

Виконали студенти  
групи ФІ-81

Кармазін А.О.  
Корешков М.О.  
Прохоренко О.С.  
Шкаліков О.В.

Перевірів:  
Долгошей В.Б.

## Теоретична частина

Кільця Ньютона утворюються при інтерференції світлових хвиль, відбитих від границь тонкого повітряного прошарку, який знаходиться між опуклою поверхнею лінзи і плоскою скляною пластинкою (рис.1). Спостереження ведеться у відбитому світлі.

Нехай на систему згори падає монохроматичний паралельний пучок променів. Частина променів (промінь 1 на рис. 1) відбивається від верхнього краю пластини, а інша частина (промінь 2 на рис. 1) від нижнього краю лінзи. Промені 1' та 2' когерентні, але між ними виникає різниця ходу. Роль тонкої плівки виконує повітряний проміжок між пластинкою та лінзою. Нехай на систему згори падає монохроматичний паралельний пучок променів.

В першому наближенні, як що знехтувати невеликим нахилом променів у повітряному зазорі, геометрична різниця дорівнює

$$\delta' = 2(d_0 + d) \quad (1)$$

де  $d_0$  - товщина зазору в місці контакту лінзи та пластини, яка може бути як додатною, наприклад, за наявності часток пилу між лінзою та пластинкою, який викликає деформацію;  $d_0 + d$  - товщина повітряного зазору на відстані  $r_m$  від центру лінзи. Для того, щоб визначити повну різницю ходу  $d$  треба прийняти до уваги зміну фаз світлової хвилі під час відбиття від гранці поділу скло-повітря, коли показник заломлення першого середовища більше за показник заломлення другого, та під час відбиття від гранці повітря-скло, коли навпаки показник заломлення першого середовища менше за показник заломлення другого. Відомо, що для електричного вектора у першому випадку відбиття відбувається без зміни фаз, а в другому призводить до зміни фаз на  $\pi$ ; фаза магнітного вектора, навпаки, змінюється на  $\pi$  тільки під час першого відбиття. Таким чином, промені 1 і 2 набувають різниці фаз  $\pi$ , що відповідає додатковій різниці ходу  $\frac{\lambda}{2}$ , а повна різниця ходу:

$$\delta = 2(d_0 + d) + \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

Якщо форма лінзи близька до сферичної з радіусом кривизни  $R \gg r_m$ , то з геометричних міркувань  $r_m^2 = 2Rd$  і:

$$\delta = \frac{r_m^2}{R} + 2d_0 + \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Якщо повна різниця ходу дорівнює  $\lambda \left(m + \frac{1}{2}\right)$ , то промені 1 і 2 гаситимуть один одного і спостерігатимуться темні плями (кільця). Радіус цих кілець легко розрахувати за формулою:

$$r_{\text{тем}}^2 = R(\lambda m - 2d_0) \quad (4)$$

Аналогічно, для радіуса світлих кілець маємо:

$$r_{\text{світ}}^2 = R\left(\lambda m - 2d_0 - \frac{\lambda}{2}\right) \quad (5)$$

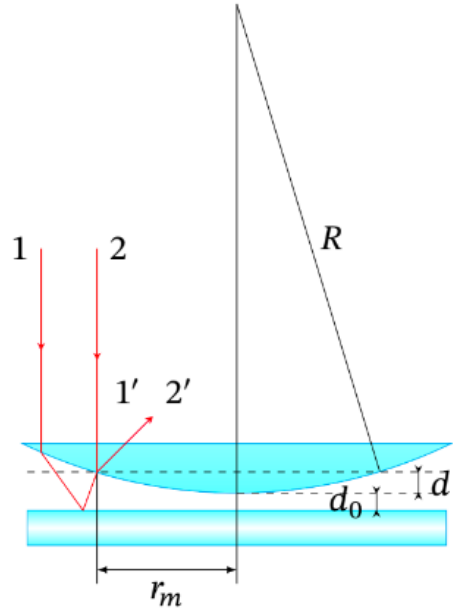


Рис. 1: Утворення кілець Ньютона

Отже, за графіком залежності  $r^2(m)$  від номеру кільця можна визначити радіус кривизни лінзи, а також величину проміжку в місці контакту.

## Хід роботи

**Мета роботи:** Ознайомлення з явищем інтерференції в тонких плівках (смуги рівної товщини) на прикладі кілець Ньютона і з методикою інтерференційних вимірювань кривизни скляної поверхні.

В даній лабораторній роботі кільця Ньютона досліджується за допомогою мікроскопа. На столику мікроскопа розташоване держак, на якому розміщується досліджувана лінза з пластиною. В одному з окулярів мікроскопа встановлюється освітлювач, що генерує пучок променів, паралельних тим, що падають в околі спостерігача. Для монохроматизації пучка перед освітлювачем встановлюють фільтр. В комплект входять 7 фільтрів, що створюють монохроматичні пучки, довжини хвилі яких наведені в таблиці 1.

Колір	Довжина хвилі $\lambda$ (нм)
Фіолетовий	$404 \pm 10$
Синій	$434 \pm 10$
Блакитний	$486 \pm 10$
Зелений	$546 \pm 10$
Жовтий	$586 \pm 10$
Помаранчевий	$656 \pm 10$
Червоний	$706 \pm 10$

Табл. 1: Довжини хвиль

На початку експерименту рекомендуються знайти кільця Ньютона в білому світлі (без фільтра) і сфокусувати мікроскоп під своє око. Перехрестя шкал мікроскопа повинно проходити через центр кілець. Після цього можна встановити фільтр і переходити до безпосередніх вимірювань радіусу кілець. Для вимірювань на окулярі мікроскопа нанесено спеціальну шкалу з поділками. Ціну поділки для кожного значення збільшення вказано в інструкції до мікроскопа.

Вимірювати радіус кілець слід від центру системи до середини кільця. Для збільшення точності рекомендуємо після першої серії вимірів із заданим фільтром повернути лінзу на  $90^\circ$  навколо вертикальної осі і повторити виміри. Якщо робота виконується двома студентами, то рекомендуємо провести виміри кожному з студентів, а потім порівняти й усереднити одержані результати.

1. Виміряйте радіуси темних та світлих кілець для усіх наявних фільтрів, Побудуйте графіки залежностей квадрату радіусів від номеру кільця.
2. За графіками визначте нахил прямих і розрахуйте радіус кривизни. Оцініть похибку експерименту.
3. Оцініть діаметр плями стику лінзи зі скляною пластинкою.

## Практична частина

У результаті проведених експериментів були отримані наступні дослідні дані:

Фільтр	Кільце	$r_{\text{світ}} (5 \cdot 10^{-5} \text{м})$	$r_{\text{тем}} (5 \cdot 10^{-5} \text{м})$
червоний	1	10	10,7
	2	11.5	12.5
	3	13.5	14
	4	15	15.5
	5	16	16.5
помаранчевий	1	10	11
	2	12	12.9
	3	13.5	14.1
	4	14.6	15
	5	15.6	16
зелений	1	9.3	10.3
	2	11.2	11.7
	3	12.5	13.1
	4	13.6	14.1
	5	14.4	15.0
синій	1	9.9	10.8
	2	11.8	12.2
	3	13.2	13.6
	4	14.1	14.6
	5	14.7	15.0

Табл. 2: Дослідні дані

З формул 4 і 5 бачимо, що значення радіуса кривизни  $R$  та товщини зазору в місці контакту  $d_0$  можна знайти розв'язав задачу лінійної регресії, а саме, якщо  $r^2 = km + b$ , то

$$R = \frac{k}{\lambda}$$

$$d_0 = -\frac{b_{\text{тем}}}{2R} = -\frac{b_{\text{світ}}}{2R} - \frac{\lambda}{4}$$

Діаметр плями, що утворилася міє лінзою та скляною поверхней, з елементарних геометричних міркувань(теорема Піфагора) можна образувати наступним чином:

$$D = 2\sqrt{R^2 - (R - d_0)^2} = 2\sqrt{2R|d_0| - d_0^2}$$

Отже, обрахуємо  $R$ , як середнє значення результатів для світлих і темних кілець. Результати містяться у таблиці 3. Графіки отриманих залежностей наведені нижче(рис. 2, рис. 3).

Фільтр	$R_{\text{тем}}(\text{см})$	$R_{\text{світ}}(\text{см})$	$R(\text{см})$	$d_{0\text{тем}}(\text{мкм})$	$d_{0\text{світ}}(\text{мкм})$	$d_0(\text{мкм})$	$D(\text{мкм})$
червоний	14.147	14.33	14.24	-0.67	-0.68	-0.68	877
помаранчевий	12.52	13.56	13.04	-0.95	-0.81	-0.88	957
зелений	13.72	13.79	13.76	-0.71	-0.7	-0.7	879
синій	16.19	17.04	16.61	-0.72	-0.67	-0.7	962

Табл. 3: Результати обчислень

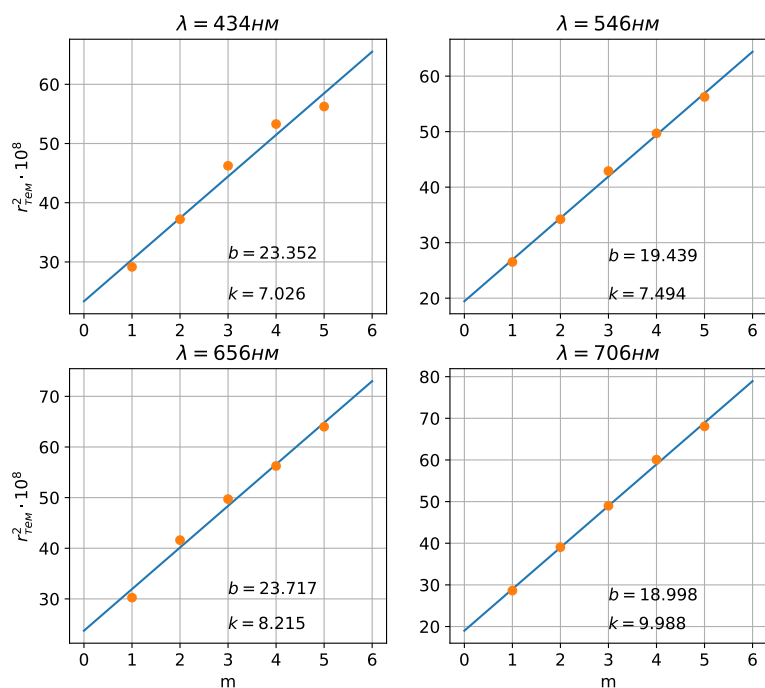


Рис. 2: Графіки залежностей квадрату радіуса темних кілець від номера

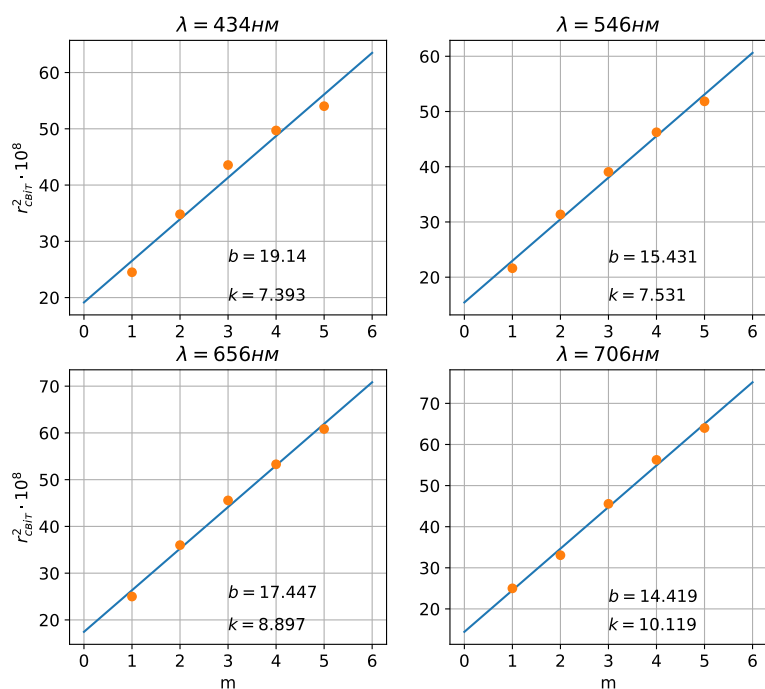


Рис. 3: Графіки залежностей квадрату радіуса світлив кілець від номера

Обчислимо абсолютні похибки за наступними формулами:

$$\Delta R =$$

$$\Delta D =$$

Покладаючи  $\Delta r = 10^{-6}$ , отримуємо наступні значення похибок.

Фільтр	$\Delta R$	$\Delta D$	$\varepsilon_R$	$\varepsilon_D$
червоний				
помаранчевий				
зелений				
синій				

Табл. 4: Абсолютні та відносні похибки

## Висновки

Ми ознайомились з явищем інтерференції в тонких плівках на прикладі кілець Ньютона і з методикою інтерференційних вимірювань кривизни скляної поверхні.

В результаті виконання лабораторної роботи було обраховано радіуси кривизни та діаметри плями стику лінзи зі скляною пластиною. Результати наведені у таблиці 3. Також були обраховані абсолютні та відносні похибки (таблиця 4). Їх можна пояснити людським фактором та не зовсім коректним використанням обладнання.

## Відповіді на контрольні питання

1. Від чого залежить кількість спостережуваних кілець?

Від спектрального складу світла, в якому ми проводимо спостереження. Якщо в білому, то кільце буде відносно небагато, а якщо в монохроматичному, то їх буде дуже багато. Причому чим менше довжина хвилі монохроматичного світла тим більше кілець.

2. Чому кільця, що спостерігаються мають райдужне забарвлення?

Систему світлих і темних смуг отримують лише при освітленні монохроматичним світлом. При спостереженні в білому світлі отримують сукупність зміщених одна відносно одної смуг, утворених променями різних довжин хвиль, й інтерференційна картина набуває райдужного забарвлення.

3. Чому по мірі віддалення від центру кільця розташовуються ближче один до одного?

По мірі віддалення від центру кільця розташовуються ближче один до одного, бо змінюється кут повітряного клина.

4. Що станеться з кільцями Ньютона, якщо проміжок між лінзою і пластинкою заповнити рідиною?

Зміна фаз на границі рідина-скло буде відмінною від зміни фаз, на границі повітря-скло. Як можна побачити з формули 3, якщо показник заломлення буде більший за показник заломлення повітря, то радіус кілець зменшиться, і навпаки: якщо показник заломлення буде менший за показник заломлення повітря, то радіус збільшиться.

5. Чи можна при спостереженні кілець Ньютона у відбитому світлі отримати в центрі не темне, а світле кільце? Якщо так, то сформулюйте умови, які для цього необхідні.

При спостереженні кілець Ньютона у відбитому світлі отримати в центрі не темне, а світле кільце можливо, якщо:

- (а) якщо лінза не прилягає щільно
- (б) існує ділянка, де відсутній проміжок і тому проходить світло (лінза притиснута)