

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



Кафедра фізики

Методичні вказівки до лабораторної роботи
**«Контроль локальної товщини прозорих матеріалів методом
лазерної інтерферометрії»**

для бакалаврів напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»

Рекомендовано до видання засіданням кафедри фізики
(протокол №10 від 14.03.2012 р.)

Дніпропетровськ
Державний ВНЗ «НГУ»
2012

Фізика. Методичні вказівки (українською та російською мовами) до лабораторної роботи «Контроль локальної товщини прозорих матеріалів методом лазерної інтерферометрії» для бакалаврів напряму підготовки 6.050503 та других напрямів. – Автори: О.І. Лютий, Л.М. Глушко. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 10 с.

Автори:

Л.М. Глушко, канд. фізмат. наук, доц.

О.І. Лютий, канд. фізмат, доц.

Затверджено до видання учбово-методичним управлінням ДВНЗ «НГУ» за поданням методичної комісії напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» (протокол № 3 від 2.04.2012 р.).

Методичні матеріали призначено для самостійної роботи студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» та других напрямів під час підготовки до модульних контролів за результатами практичних занять з нормативної дисципліни «Фізика».

Наведено теоретичні відомості про явище інтерференції світла від лазерного джерела і її застосування для визначення локальної товщини пластини із прозорого матеріалу і контролю її площинності.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри фізики проф. І.П. Гаркуша.

Друкується у редакційній обробці укладачів.

Контроль локальної товщини прозорих матеріалів методом лазерної інтерферометрії

Ціль роботи: вивчення інтерференції світла від лазерного джерела і її застосування для визначення локальної товщини пластини із прозорого матеріалу і контролю її площинності.

Якщо освітити яку-небудь частину поверхні одночасно двома джерелами світла, то за певних умов може статися, що освітленість її не тільки не збільшиться, а навіть зменшиться. Це пояснюється тим, що світлові хвилі, як і хвилі будь-якої іншої природи, накладаючись одна на одну, підсилюються або послаблюються за законами додавання гармонійних коливань (принцип суперпозиції). У загальному випадку сумарна інтенсивність може мати різні значення.

Явище накладення світлових хвиль, при якому відбувається перерозподіл світлової енергії так, що в одних областях простору інтенсивність світла зростає, а в інших – зменшується, називається *інтерференцією світла*.

Для спостереження стійкої інтерференційної картини світлові хвилі повинні бути *когерентними*, тобто досягати всіх точок спостереження з постійної в часі різницею фаз. Когерентні хвилі одержують шляхом поділу випромінювання від одного джерела на два просторово помітних пучки. Їх направляють по різним геометричним шляхам в одну і ту ж область простору (наприклад, на екран), де й спостерігається інтерференційна картина.

У зв'язку з тим, що швидкість поширення світла залежить від показника заломлення n середовища ($v = c/n$, де c – швидкість світла у вакуумі), вводитьься поняття *оптичної довжини шляху*. Вона дорівнює геометричній довжині, помноженій на показник заломлення середовища, в якому світло поширюється. Величина що дорівнює різниці оптичних довжин шляхів, які проходять хвилі, називається *оптичною різницею ходу* Δ . Якщо оптична різниця ходу дорівнює парному числу напівхвиль (цілому числу довжин хвиль), то хвилі підсилюють одна одну. Якщо ж вона дорівнює непарному числу напівхвиль, то хвилі послаблюють одна одну. У такий спосіб

$$\text{умова інтерференційних максимумів} \quad \Delta = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda. \quad (1)$$

$$\text{умова інтерференційних мінімумів} \quad \Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

де $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ – ціле число, λ – довжина світлової хвилі.

У науці і техніці набули застосування інтерферометричні методи контролю якості обробки поверхні деталей, напруг і деформацій у конструкціях, що виникають при роботі механізмів і ін. Ці методи засновані на точному вимірі (з точністю до 10^{-6} м) відстаней у рельєфі оброблюваної поверхні або в моделях деталей із прозорих матеріалів у порівнянні з еталоном.

У даній лабораторній роботі використовується монохроматичне випромінювання газового лазера для виміру локальної товщини скляної пластини і контролю її площинності методом лазерної інтерферометрії.

На рис. 1 представлена оптична схема установки, за допомогою якої на

екрані реалізується кільцева структура інтерференційного поля. Особливістю цієї схеми є те, що когерентні джерела світла S_1 і S_2 розташовані на оптичній осі (у класичних схемах спостереження інтерференції вони розташовані перпендикулярно до оптичної осі). Тому максимальна різниця ходу двох променів Δ_{\max} , яка рівна відстані між когерентними джерелами d , має місце для центра екрана, тобто точки O , що лежить на осі. Цьому відповідає: максимальний порядок інтерференційного кільця $k_{\max} = d/\lambda$, мінімальний радіус кільця $R_{k_{\max}} \rightarrow 0$ і убування порядку k у міру видалення кільця від оптичної осі $R_{k_{\max}} < R_{k_{\max}-1} < R_{k_{\max}-2} < \dots$. Інтерференція цього типу характеризується великою різницею ходу та великим порядком інтерференційних максимумів. Наприклад, при $d \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ для випромінювання гелій-неонового лазера ($\lambda = 6,328 \cdot 10^{-7} \text{ м}$) максимальний порядок дорівнює $k_{\max} \approx 10^3$.

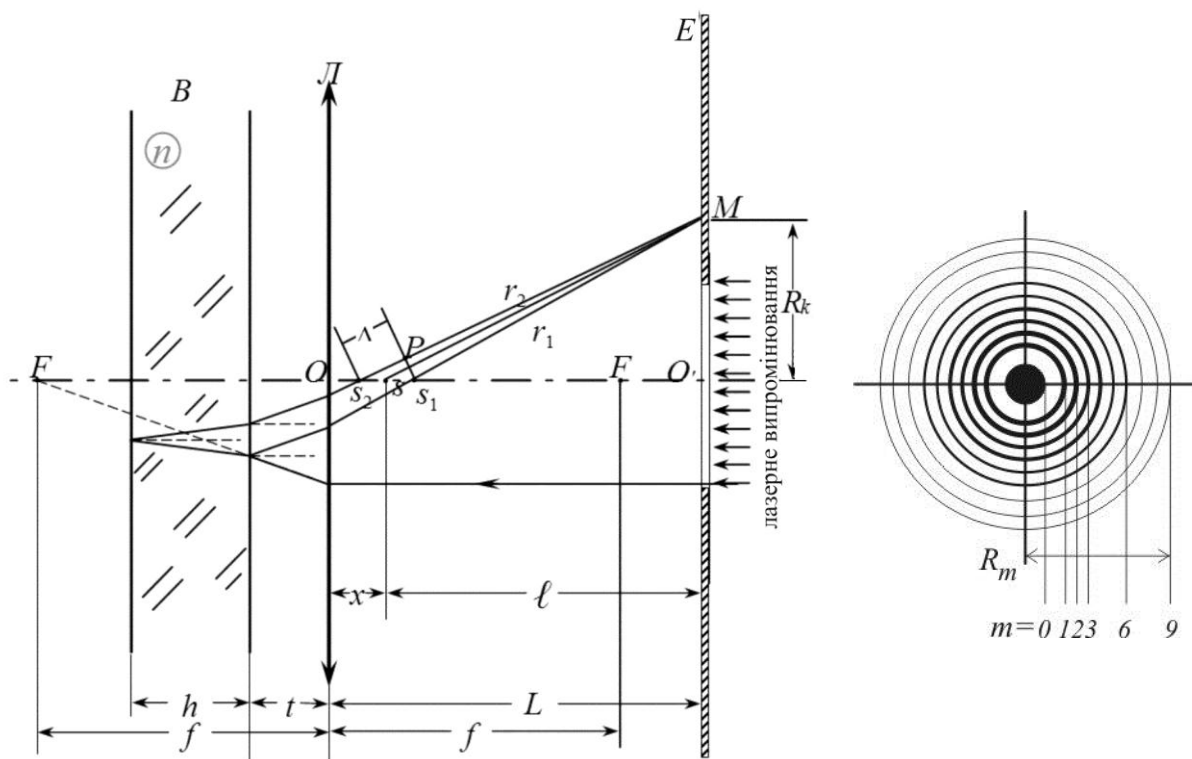


Рис. 1

Зручніше нумерувати кільця числом m у порядку проходження їх один за одним у міру видалення від центра

$$m = k_{\max} - k. \quad (3)$$

Якщо в центрі екрана буде спостерігатися інтерференційний мінімум, то для нього $m = 0$, тобто для мінімумів (темні кільця) число m приймає значення натурального ряду чисел ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$). Тоді положення максимумів інтенсивності (світлі кільця) будуть відповідати напівцілим значенням числа m ($m = 0,5; 1,5; 2,5; \dots$).

З подібності трикутників S_1S_2P и MSO випливає, що відношення їхніх більших катетів до гіпотенузи дорівнює

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{l}{\sqrt{l^2 + R^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (R/l)^2}}. \quad (4)$$

Ліва частина рівності може бути представлена співвідношенням

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{(k_{\max} - m)\lambda}{k_{\max} \lambda} = 1 - \frac{m}{k_{\max}}. \quad (5)$$

У всіх експериментальних схемах спостереження інтерференції має місце нерівність $(R/l) \ll 1$. Тому можна скористатися розкладанням правої частини (4) у ряд Маклорена, зберігши при цьому два перших доданки ряду

$$1/\sqrt{1 + (R_m/l)^2} \cong 1 - 1/2 \cdot (R_m/l)^2, \quad (6)$$

У результаті з (4) - (6) одержуємо

$$R_m^2 = (2l^2/k_{\max}) \cdot m, \quad R_m = l\sqrt{2/k_{\max}} \cdot \sqrt{m}, \quad (7)$$

звідки видно, що радіус m -го кільця пропорційний корню квадратному з його номера як і у класичних інтерференційних схемах.

З (7) випливає, що графік залежності $R_m^2 = f(m)$ буде мати вигляд прямої лінії з тангенсом кута нахилу

$$\operatorname{tg} \alpha = 2l^2 / k_{\max}. \quad (8)$$

Визначивши за графіком $\operatorname{tg} \alpha$ та вимірявши відстань l від середини когерентних джерел до екрана E , можна з (8) розрахувати максимальний порядок інтерференції

$$k_{\max} = 2l^2 / \operatorname{tg} \alpha. \quad (9)$$

Остання величина дозволяє оцінити важливий параметр розглянутої експериментальної схеми одержання інтерференції – відстань між когерентними джерелами

$$d = k_{\max} \cdot \lambda. \quad (10)$$

Розрахунок показує, що для установки, яка використовується в даній лабораторній роботі, товщина пластини і відстань між когерентними джерелами зв'язані так

$$h \cong 2,19d = 2,19k_{\max} \lambda. \quad (11)$$

З (11) випливає, що при відсутності однорідності пластини по товщині її переміщення перпендикулярно променю буде супроводжуватися зміною її товщини δh , а, отже, і максимального порядку інтерференції δk_{\max} . При збільшенні товщини пластини по трасі сканування із центра інтерференційної картини на екрані будуть з'являтися нові максимуми – кільця, при зменшенні ж товщини – кільця будуть зникати. Поява або зникнення кільця відповідає зміні k_{\max} на ± 1 , тобто $\delta k_{\max} = \pm 1$, що відповідає зміні товщини

$$\delta h = 2,19 \lambda.$$

Тому розглянута оптична схема (рис.1) може використатися як інтерферометр для контролю локальної товщини середовища із прозорого матеріалу з точністю до декількох довжин хвиль.

У даній роботі вивчається інтерференційна картина від когерентних джерел,

які виникають при відбитті монохроматичного випромінювання гелій – неоновому лазеру від двох поверхонь скляної плоскопаралельної пластини.

Прилади й приладдя: гелій-неоновий лазер, скляна пластина, екран з міліметровою шкалою, пристрій для сканування пластини, метрова лінійка.

Завдання 1. Визначення локальної товщини пластини.

1. Одержати на екрані контрастну інтерференційну картину у вигляді світлих і темних кілець. Зафіксувати положення екрана на оптичній осі ($L \approx 35 - 60 \text{ см}$).
2. Виміряти відстань L від екрана до лінзи і визначити параметр $l = L - x$. При розрахунках прийняти параметри експериментальної установки: довжина хвилі випромінювання лазера $\lambda = 6,328 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, $x = 1,3 \text{ см}$.
3. Визначити положення оптичної осі на екрані (точку O) – центр всієї системи кілець $r_0 = (a + b)/2$, де a і b – відліки по шкалі двох діаметрально протилежних точок довільного кільця.
4. Виміряти радіуси 10-15 послідовно розташованих світлих і темних кілець R_m , відраховуючи від r_0 .
5. Побудувати графік залежності квадратів радіусів кілець від їхнього номера $R_m^2 = f(m)$.
6. Визначити тангенс кута нахилу графіка $\text{tg} \alpha = (R_m^2 - R_{m_0}^2)/(m - m_0)$.
7. По формулі (9) розрахувати максимальний порядок інтерференції k_{max} .
8. За допомогою (10) визначити відстань d між когерентними джерелами, а з (11) оцінити локальну товщину h пластини на оптичній осі установки.
9. Результати вимірів і розрахунків занести в таблицю.

Таблиця

m	$R_m, \text{мм}$	$R_m^2, \text{мм}^2$	$l, \text{мм}$	$\text{tg} \alpha$	k_{max}	$d, \text{мм}$	$h, \text{мм}$
1							
1,5							
2,							
2,5							
...							
...							

Завдання 2. Дослідження рельєфу поверхні пластини із прозорого матеріалу.

1. Розвернути тримач лінзи із пластиною В на 180° . Тоді досліджувана пластина буде перед лінзою. Пластина може плавно переміщатися механічним шляхом. Повільно переміщаючи пластину, переконаватися, що в центрі екрана з'являються або зникають інтерференційні кільця. Це свідчить про те, що товщина пластини змінюється по трасі сканування.
2. Сполучити край пластини із променем лазера і повільно переміщати її в напрямних. Одночасно рахувати кількість δk кілець що з'являються або зникають у центрі екрана. Через кожні 5-10 мм робити запис δk , вважаючи $\delta k > 0$, коли кільця з'являються, що відповідає збільшенню товщини пластини, і $\delta k < 0$,

коли кільця зникають, що відповідає зменшенню товщини пластини в порівнянні з товщиною її краю. Щораз при зміні знака δk відлік його починати з нуля.

3. Побудувати графік залежності $\delta k = f(x)$ де x - відстань від краю пластини до досліджуваної точки, а кожне δk дорівнює попередньому, складеному з відліком на даній ділянці з урахуванням знака: $\delta k = \delta k_1, \delta k_1 + \delta k_2, \delta k_1 + \delta k_2 + \delta k_3, \dots$

4. По формулі (11) розрахувати δh , вважаючи $\delta k = |(\delta k)_{\max}| + |(\delta k)_{\min}|$. Отримане значення δh буде являти собою різницю між максимальною і мінімальною товщиною пластини по трасі сканування.

5. Відсунути пластину від лінзи на таку відстань, щоб більша частина її поверхні була освітлена, а відбите від неї світло попадало на екран. На екрані при цьому спостерігається інтерференційна картина, що якісно відбиває «рельєф» пластини (смуги рівної товщини).

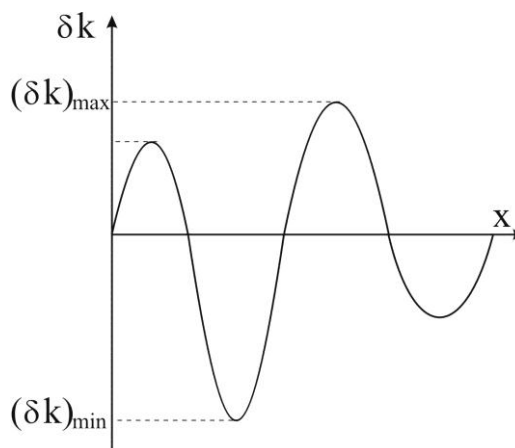


Рис.2

Контрольні питання

1. У чому полягає явище інтерференції світла? Які хвилі називаються когерентними?
2. Що називається оптичною різницею ходу хвиль?
3. Назвіть умови інтерференційних максимумів і мінімумів. Визначите, що буде спостерігатися на екрані, максимум чи мінімум, при $\Delta = 2,22 \text{ мкм}$ і $\lambda = 0,555 \text{ мкм}$.
4. У чому полягає відмінність застосовуваної в даній роботі інтерференційної схеми від класичних схем спостереження інтерференції?
5. Який вид має інтерференційна картина в досліджуваній схемі і як змінюється порядок інтерференції k ?
6. Які технічні застосування інтерференції ви знаєте?

Література

1. Трофимова Т.И. Курс физики, М.: Наука, 2005
2. Кучерук Й.М., Горбачук Й.Т. Загальний курс фізики, т. 3, 2006.
3. Лютий А.И. Об интерференционном способе определения плоскостности пластин из прозрачного материала. Оптика й спектроскопия, т. 67, вип. 4, сс. 954 - 958, 1989.

Укладачі: Лютий О.І., Глушко Л. М.