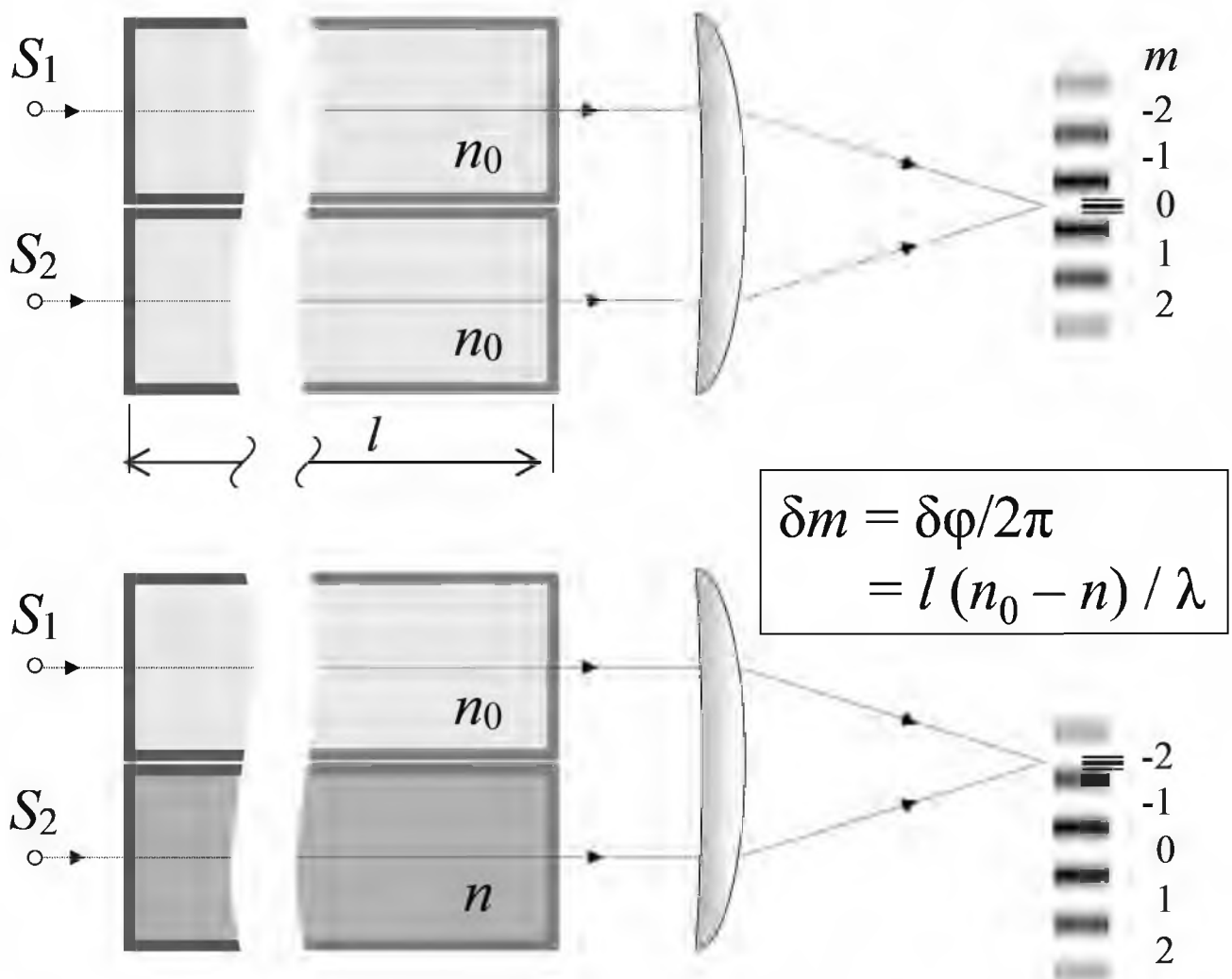


Р.М.Мельник

ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА двоплічні інтерферометри

- Інтерферометр Жамена, високоточна рефрактометрія газів
- Визначення якості оптичних матеріалів на інтерферометрі Майкельсона
- мікроінтерферометр Лінника у контролі якості запису амплітудно-фазових голограм



3.4 Високоточна рефрактометрія газів застосуванням інтерферометрів

3.4.1 Інтерферометри і рефрактометри

Оптичні інтерферометри — це прилади, що використовують інтерференцію світла. Оптичні схеми використання інтерференції світла можна розділити на багатопроменеву інтерференцію і двопроменеву. Під *інтерферометрами* здебільшого розуміють використання двоплічної інтерференційної схеми.

Довідка. Багатопроменевою є інтерференція, зумовлена дифракцією (інтерференцією обмежених пучків) на періодичних структурах, багаторазовому відбиванні чи заломленні в оптичних елементах. Має використання у спектральних приладах високої роздільної здатності.

Інтерференційну схему двох когерентних точкових джерел називають *двопроменевою* або *двоплічною*. Ділення монохромного джерела на два уявні — необхідна умова отримання когерентності хвиль, сталої різниці фаз між хвилями при їх накладанні, не залежності різниці фаз накладених хвиль від часу.

Перевага інтерференційних вимірювань полягає у тому, що одиницею вимірювань є довжина хвилі λ або її долі. Зіставляється довжина хвилі макроскопічним параметрам — сантиметри, інколи метри. Типова відносна точність вимірювань $\sim 10^{-6}$, десятитисячні долі процента. Спеціальні методи інтерферометрії дозволяють отримати ще на 3-5 порядків точність вищу. В наш час появляються нові засоби нано-, піко-, і навіть фемторозмірностей.

Прилади на основі двопроменевої інтерференції світла мають широке застосування: контроль якості поверхонь, неоднорідності середовищ, деформацій; рефрактометрія матеріалів; кількісний і якісний контроль потоків в аеродинамічних трубах; астрономічні вимірювання.

Рефрактометрія (лат. *refractus* — переломлений + грец. *metreo* — вимірюю) — оптичний метод аналізу, заснований на вимірюванні показника заломлення речовини. Рефрактометрія використовується для ідентифікації речовини, кількісного визначення багатокомпонентних сумішей, аналізу якості розчинів, термінів їх зберігання.

Прилади, що використовують для визначення показника заломлення, називають *рефрактометрами*. Найпоширеніші з них це рефрактометр типу Аббе, точність $10^{-3} - 10^{-4}$, або рефрактометр типу Пульфриха, точність до 10^{-5} . Дія приладів базується на визначенні кута повного внутрішнього відбивання між двома середовищами (тип Аббе) і на вимірюванні кута заломлення монохромного світла (тип Пульфриха).

Рефрактометрія з використанням інтерференції має вищу точність вимірювань, прицезійніша, дозволяє визначати показники заломлення газів (мають мале відносне значенням показника заломлення $n - 1 \sim 10^{-4}$), низькі концентрації розчинів, малі зміни фізико-хімічних параметрів матеріалів, біологічних розчинів, кінетичних процесів хімічного складу середовищ.

Одним із типових інтерференційних рефрактометрів серійного випуску є шахтний портативний газоаналізатор для контролю газових середовищ. У лабораторії використовується модифікація ШИ-11, виконаний на базі інтерферометра Жамена. Даний прилад не більше ніж за хвилину дозволяє проводити вимірювання концентрацій вибухонебезпечного газу метану і вуглекислого газу у повітрі шахтного забою, попереджати вибухонебезпечні ситуації.

Тут у дослідях шахтний газоаналізатор ШИ-11 на базі інтерферометра Жамена використовується для визначення показника заломлення газового середовища повітря.

Зв'язок між концентрацією (тиском) розрідженого газу і показником заломлення видимого світла цим газом в загальному випадку залежність показника заломлення світла може бути складною, нелінійною. Часто така залежність виявляється саме в дослідах. Для розріджених газів існує лінійна залежність показника заломлення від концентрації газу зручна для проведення рефрактометричних дослідів.

Зменшення швидкості світла у середовищі зумовлена взаємодією світлових хвиль з електронною оболонкою атомів. Під дією змінного електромагнітного поля в атомі індукується дипольний момент $\mathbf{P} = \alpha \mathbf{E}$. $\alpha = \alpha(\omega)$ — показник поляризації молекули електромагнітною хвилею частоти ω , індивідуальний для кожного виду атомів і молекул. Залежність показника поляризації від частоти $\alpha(\omega)$ зумовлює дисперсію світла $n(\omega)$.

Згідно рівнянь Максвелла, показник заломлення світла $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu}$, ϵ — діелектрична проникність середовища, μ — його магнітна проникність. Для немагнетиків індукований магнітний момент на 3-4 порядки нижчий за електричний, з високою точністю можна вважати $\mu = 1$. Із класичної електронної теорії для розріджених газів $\epsilon = 1 + 4\pi\alpha N$, концентрація газу N — число атомів в одиниці об'єму. Відповідно показник заломлення $n \equiv \sqrt{\epsilon} = \sqrt{1 + 4\pi\alpha N}$.

З табличних даних для повітря $n \approx 1,00027$. Якщо перший порядок розкладу в ряд $2\pi\alpha N = 0,00027$ дає 4-ий розряд мантиси відмінний від нуля, то другий порядок напевне буде починатися з 8-го розряду. Для розріджених газів, таким є також повітря, розкладом в ряд до першого порядку малого значення $n = 1 + 2\pi\alpha N$. Підстановкою значення концентрації N з рівняння стану розрідженого газу $p = NkT$,

$$n = 1 + Ap, \quad A = \frac{2\pi\alpha}{kT}. \quad (3.29)$$

Важливо, показник заломлення виявляє лінійну залежність від концентрації газу, а значить і від тиску, при сталій температурі.

3.4.2 Інтерферометр Жамена

Інтерферометр Жамена працює на використанні двох скляних плоскопаралельних пластин однакової товщини паралельно встановлених, як показано на Рис. 4.1. До матеріалу пластин є вимоги високої якості скла — однорідність і чистота скла без мікропустот.

У гнізді лампочки інтерферометра встановлена насадка для освітлювача з галогенною лампою (12 В, 20 Вт), живиться від блоку ИП-1. Між насадкою і лампою встановлюють оптичні стекла, світлофільтри $S\Phi$ для звуження ширини спектра освітлювача і збільшення кількості видимих інтерференційних смуг.

Кут падіння променів світла на пластини $\approx 45^\circ$. Частина світла відбивається від пластини P_1 — промінь 1; частина заломлюється, відбивається від її задньої поверхні і знов заломлюється на передній поверхні — промінь 2. Інші заломлені і відбиті хвилі не беруть участі у формуванні інтерференційної картини, не потрапляють у інтерференційну схему.

На наступній пластині P_2 відбувається те саме з кожною падаючою на неї хвилею, утворюються чотири когерентні пучки світла $1' - 4'$. Із них використовуються для інтерференції два, $1'$ і $2'$ — практично однакові за інтенсивністю, оптичним ходом, виходом із інтерферометра. Інтерференційну картину накладених пучків $1'$ і $2'$ спостерігають у мікроскоп M .

Довідка. Для ідеально підігнаних по товщині і паралельно розташованих пластин кожна хвиля, навіть при відхиленні від кута падіння 45° на першу пластину, має різницю ходу, рівну нулю. У інтерферометрі спеціально створюють невелике розбалансування для отримання інтерференційних смуг і регулювання їх ширини. Пластини, як правило, товсті, товщиною в 1 см і більше. Цим два паралельні промені рознесені на достатню відстань, щоб проходити через окремі кювети. Також дозволяють уникати зайвих пучків світла багатократного відбивання у пластинах.

В одній кюветі вільний доступ повітря, тиск атмосферний p_0 , показник заломлення n_0 . До другої кювети під'єднані насос-груша Hc із затискачем Z і манометром Mn (Рис. 4.1). Закручений затискач Z дає змогу помпувати повітря без його витікання із системи, збільшувати тиск p . Також мірою перекриття зати-

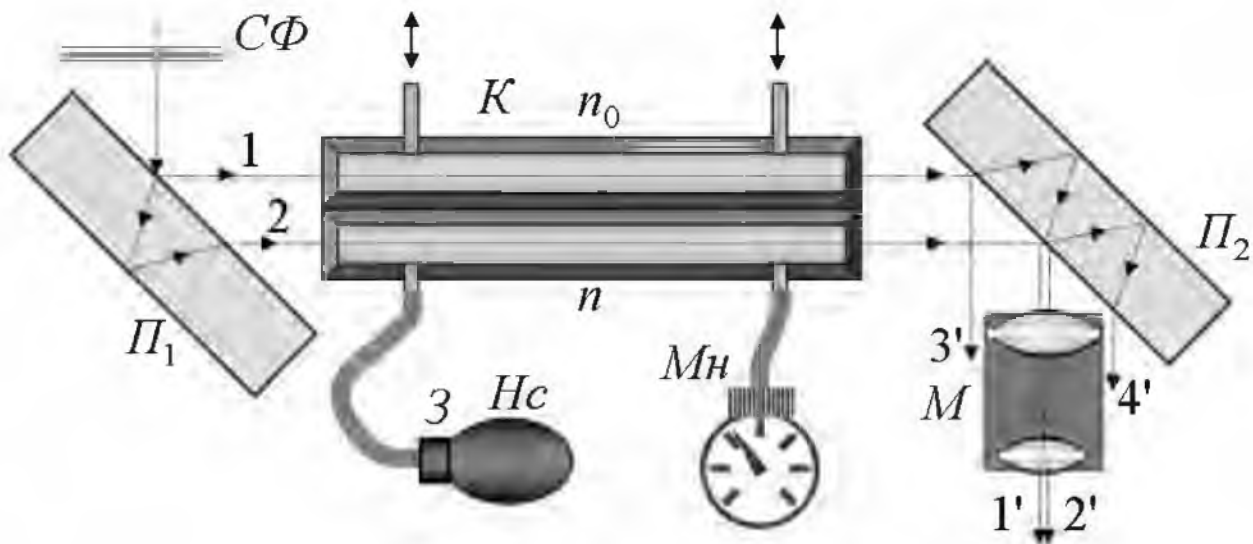


Рис. 3.27. Рефрактометр повітря: інтерферометр Жамена із двох плоскопаралельних пластинок Π_1 і Π_2 , світло падає на них під кутом $\sim 45^\circ$; у мікроскоп M спостерігаємо інтерференційні лінії; світлофільтр $S\Phi$ для збільшення чітких інтерференційних смуг; кювети K точно підігнані по довжині. Насосом Hc і манометром Mn обладнана одна з кювет. Друга має вільний доступ повітря.

скача Z регулюється швидкість витікання надлишкового повітря. Манометр дає показання різниці тиску $\Delta p = p - p_0$ із точністю $\pm 3 \text{ mm Hg}$. Позначення "mm Hg" на манометрі означає одиниці вимірювання у міліметрах ртутного стовпчика.

Прилад дозволяє візуально спостерігати кількість Δm зміщених інтерференційних смуг у полі зору окуляра мікроскопа і одночасно фіксувати різницю тисків Δp у кюветах, яка приводить до зміщення Δm , тим самим визначати зміну показника заломлення $\Delta n = n - n_0$ у другій кюветі в порівнянні з першою. Для розріджених газів, яким є повітря, $\Delta m \sim \Delta n \sim \Delta p \sim \Delta N$, різниця тисків пропорційна різниці концентрацій N газів у обох кюветах. Найчастіше саме концентрацію чи параметр пов'язаний з концентрацією контролюють в рефрактометрах.

3.4.3 Принципова схема двоплічного інтерференційного рефрактометра

У двоплічному інтерферометрі для всіх довжин хвиль співпадає положення інтерференційної смуги нульового порядку $m = 0$. Ця смуга вирізняється контрастністю і безбарвністю. Смуги наступних інтерференційних порядків мають відмінні положення у інтерференційній картині для різних λ . На максимум червоного світла може накладатися мінімум синього для одного і того ж порядку m ; малі порядки інтерференції $m \neq 0$ мають веселкове забарвлення, а з ростом m інтерференційна картина зникає (спостерігали кільця Ньютона у видимому світлі). Кількість чітких смуг видимого світла невелика, Рис. 4.3, у видимому світлі можна використовувати інтерференційну картину тільки в околі нульового максимуму. Збільшується кількість інтерференційних смуг застосуванням світлофільтра, звуженням спектру світлового потоку.

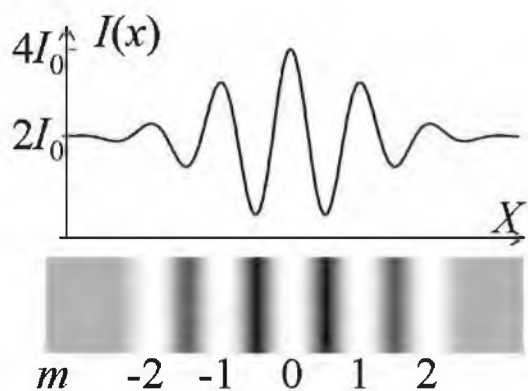


Рис. 3.28.

Для різних конструкцій інтерферометрів принцип роботи рефрактометра укладається в принципову схему наведену на Рис. 4.5. Від двох вторинних когерентних джерел, точкових і однакової початкової фази випромінювання світлової хвилі, світло проходить через два плеча однакового оптичного ходу, зводяться разом в інтерференційну картину спостережувану в мікроскоп чи фіксується фотореєструючим обладнанням.

У плечах інтерферометра, шляхах ходу променів двох когерентних потоків світла, знаходяться кювети. Кювети точно підігнані по довжині, також співпадає товщина плоскопаралельних пластин на торцях кювет. Якщо наповнення кювет однорідним матеріалом (газом) однакове, то оптичні ходи хвиль через них однакові. Напроти мітки "0" знаходиться максимум інтерференційної смуги нульового порядку $m = 0$, Рис. 4.5, а. Плечі

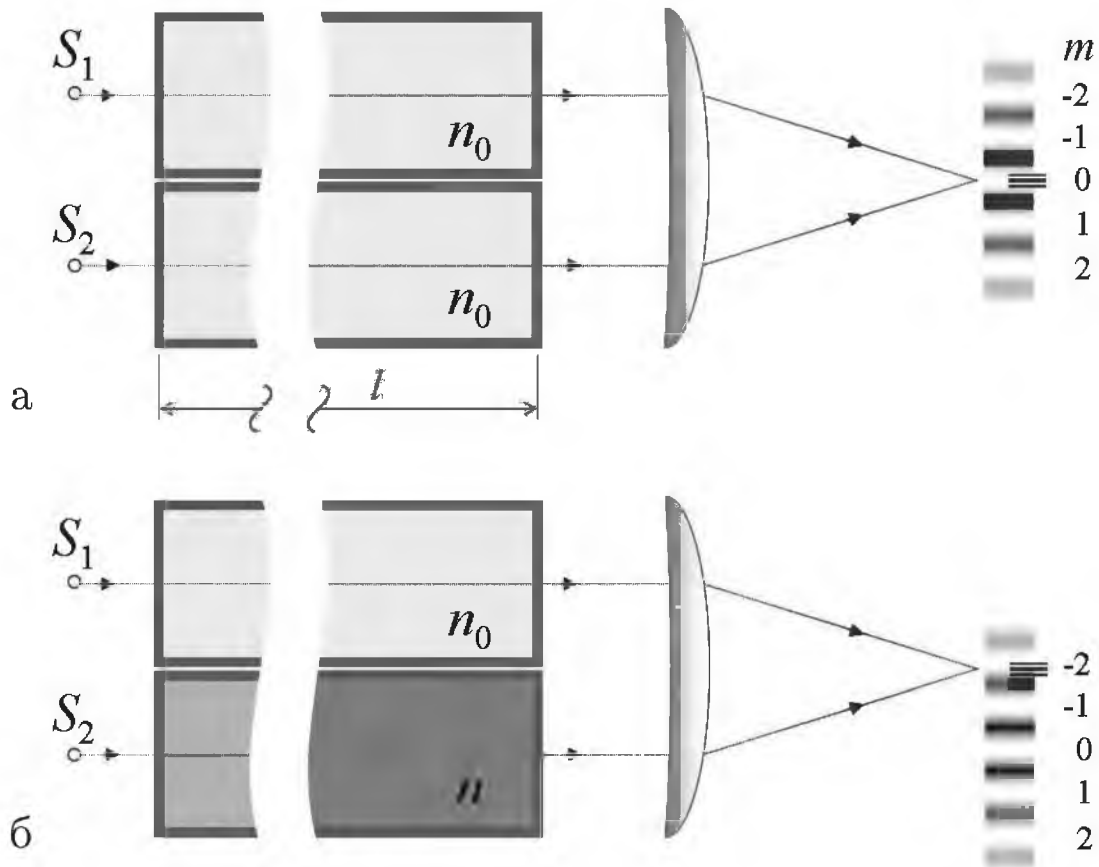


Рис. 3.29. Принципова схема інтерферометра-рефрактометра: два уявні когерентні джерела S_1 і S_2 , дві кювети однакової довжини l заповнені однаковою речовиною (газом), за кюветами промені світла зводяться разом. Речовина контрольної кювети залишається без змін із показником заломлення n_0 , у другій досліджувана речовина. а) Для речовин однакової оптичної густини у кюветах мітка вказує на положення нульового інтерференційного максимуму. Оптичний хід світлових хвиль у кожній з кювет ln_0 . б) Збільшення показника заломлення $n > n_0$ у кюветі з досліджуваною речовиною зумовлює більший оптичний хід на $ln - ln_0$ відносно ходу у контрольній кюветі. Напроти мітки не нульовий порядок інтерференції. Чим більша різниця $\Delta n = n - n_0$, тим більше зміщення інтерференційних смуг.

інтерфероматра називають рівноважними, при однакових показниках заломлення n_0 в обох кюветах.

У одній кюветі контрольний зразок, у другій — досліджуваний. Якщо у кюветі з досліджуваною речовиною зміниться концентрація речовини або з'явиться певна домішка іншої речовини, тобто зміниться густина оптичного середовища на n досліджуваної кювети відносно контрольної n_0 , то відбувається зміщення інтерференційних смуг. Кількість періодів інтерференції Δm , на яку зміщується інтерференційна картина, відповідає оптичній різниці ходу $\Delta = \Delta m \lambda$ у плечах інтерферометра однакової довжини l , але різної оптичної довжини ходу хвилі $n l$,

$$\Delta m \lambda = (n - n_0) l. \quad (3.30)$$

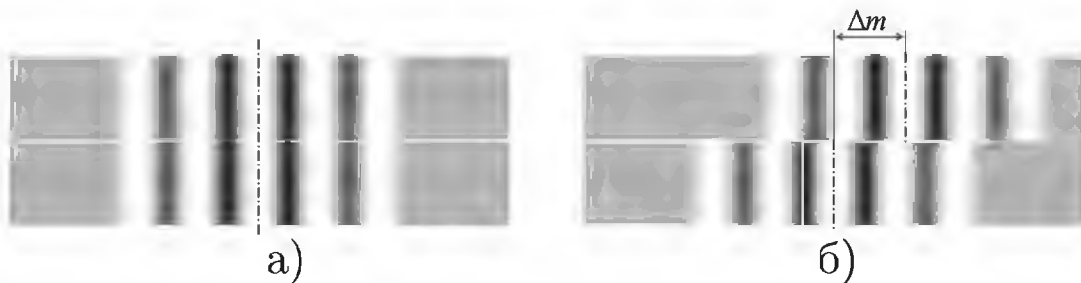


Рис. 3.30. а) Однакове розміщення смуг для рівноправних плечей інтерферометра. б) Зміщення Δm верхньої інтерференційної картини зумовлене додатковою різницею ходу в одному з плечей.

Довідка. У різних типах інтерферометрів використовують ще один спосіб знаходження зміщення інтерференційних смуг. Частина світла поступає у кювети, частина — під ними. Рефрактометр у полі зору має відповідні дві інтерференційні картини, розміщені одна під другою. Світло, яке пройшло під кюветами, дає нерухому інтерференційну картину. Якщо у кюветах однакові середовища $n = n_0$, то картини дублюють одна іншу, Рис. 4.4, а; якщо різні $n \neq n_0$, то інтерференційна картина утворена хвилями, що пройшли через кювети, зміщується на кількість смуг Δm , Рис. 4.4, б, пропорційну $\Delta n = n - n_0$.

Величина зміщення інтерференційних смуг Δm пропорційна зміні концентрації ΔN досліджуваної речовини у другій кюветі,

$$\Delta n = \frac{\Delta m \lambda}{l} = const \cdot \Delta N. \quad (4.1')$$

По зміщенню смуг Δt можна вирахувати різницю концентрацій (не концентрацію, а різницю концентрацій) досліджуваного зразка і контрольного.

Зміна показника n контролюється з точністю $\frac{\lambda}{l}$. Типові кювети мають довжину десятків сантиметрів. Для довжини хвилі видимого світла, наприклад $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$, $0,5 \text{ мкм}/10 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-6}$. У деяких приладах є можливість провадити контроль Δn з точністю десятих чи сотих долей довжини хвилі по відношенню до довжини кювети, тим самим збільшуючи точність ще на 1-2 порядки.

По зміні показника заломлення у двоплічних інтерферометрах може провадитися контроль фізичних (температура, тиск, концентрація), хімічних (склад речовин, кінетика хімічних перетворень), біологічних (розмноження бактерій, згущення біоплазми). Важливо створити умови, щоб на зміну показника заломлення в одній з кювет, на зміщення інтерференційних смуг впливав тільки один підконтрольний параметр.

3.4.4 Дослід: визначення показника заломлення повітря інтерферометром Жамена

Конструкція ШП-11 така, що світло проходить через кювету чотири рази, перенаправляється поворотними призмами. Таким чином збільшується ефективна довжина кювет, збільшується точність вимірювань. Довжина кювети з точністю до третього знаку мантиси рівна 6,0 см, сумарний геометричний хід світлового пучка через кювету $l = 24,0 \text{ см}$.

Шахтний інтерферометр ШИ-11 готують до роботи:

1. Вставляють світильник у насадку без світлофільтра. Включають блок живлення світильника ИП-1 на задній панелі. На передній — знаходиться ручка регулювання потужності світла.
2. В окуляр мікроскопа на верхній панелі ШИ-11 спостерігають інтерференційну картину. Смуга порядку $m = 0$ чітка

і без забарвлення, її максимум має співпадати з міткою окуляра. При неспівпаданні поправляють положення інтерференційної картини гвинтом юстування на задній стінці інтерферометра до положення мітки навпроти центра нульової смуги.

3. Виймають світильник з насадки, встановлюють в насадку перед світильником дихроїчний світлофільтр з пропусканням зеленого або жовтого світла, знову вставляють світильник. Довжина хвилі пропускання λ вказана на оправі або визначається на спектрофотометрі. Кількість видимих порядків для монохроматичного світла буде набагато більшою ніж у видимому світлі.
4. Перед виконанням експериментів освоюють прилад, роботу з насосом, спостерігають зміщення смуг при нагнітанні повітря в одну з кювет, експериментують з регулюванням випускання надлишкового повітря затискачем на груші насоса. Затискач має форму поворотного кільця навколо патрубку груші. Закручений затискач перепиняє витікання повітря з кювети назад через грушу, при цьому дозволяє нагнітати повітря грушею в кювету.

Знаходження показника заломлення повітря

1. Затискачем перекривають витікання повітря з системи. Не спішно нагнітають повітря в кювету до різниці тисків Δp не більше 100 мм.рт.ст. При цьому підраховують кількість смуг Δm зміщення інтерференційної картини візуальним спостереженням у мікроскоп.
2. Після кожного вимірювання затискач можна відпустити для пришвидшення витікання повітря. Чекають півхвилини-хвилину для установаження рівноважного стану в кюветах. Перед наступним дослідом знов перекривають можливість витікання повітря з системи через грушу.
3. Повторюють дослід не менше 6 разів. Кожен раз Δm мо-

же бути іншим, тому кожного разу зчитується відповідне значення Δp . Отримані дані заносять у Табл. 3.4

Табл. 3.4.

Δm	Δp , мм.рт.ст.	A , мм.рт.ст. ⁻¹	ΔA , мм.рт.ст. ⁻¹	n_0	Δn_0

4. З лінійної залежності (4.4) $A = \frac{\Delta n}{\Delta p}$, з врахуванням (4.2)

$$A = \frac{\Delta m \lambda}{l} \frac{1}{\Delta p}. \quad (3.31)$$

Тут $\Delta n = n - n_0$, $n = 1 + A p$, $n_0 = 1 + A p_0$. Довжина хвилі, характеристика пропускання світлофільтра, вказана на оправі (або вимірюється на лабораторному спектрофотометрі). Обчислюють значення коефіцієнта A , оцінюють точність обчислень ΔA , (4.7) для кожного виміру Δm і Δp . Розраховують значення і оцінку точності параметра A для невідтворюваних умов досліду, Табл. 3.4.

5. Знімають дані температури T з лабораторних термометра і значення атмосферного тиску p_0 з барометра-анероїда. Показання в паскалях переводиться у міліметри ртутного стовпчика $101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм.рт.ст.}$ або навпаки всі дані тиску переводяться у системні одиниці в паскалях. Знаходять значення n_0 при кімнатній температурі, оцінюють точність вимірювань.

Вимірювання Δm здебільшого проводиться з точністю у пів-смуги $\Delta(\Delta m) = 1/2$. Точність показань манометра становить $\Delta(\Delta p) = 3 \text{ мм.рт.ст.}$ Похибка знаходження параметра A застосуванням часткових похибок до $A = \frac{\lambda}{l} \frac{\Delta m}{\Delta p}$

$$dA = \frac{\lambda}{l} \left(\frac{d(\Delta m)}{\Delta p} - \frac{\Delta m d(\Delta p)}{\Delta p^2} \right), \quad \Delta A = A \sqrt{\left(\frac{\Delta(\Delta m)}{\Delta m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta p} \right)^2}.$$

Відповідно $\Delta n_0 = \Delta A p_0$.

Інший спосіб знаходження параметра A з тангенсу кута нахилу апроксимації множини точок $(\Delta m; \Delta p)$ з початком у точці $(0; 0)$.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під двоплечовим інтерферометром?
2. Чим зумовлена точність вимірювання інтерферометрів?
3. Опишіть роботу інтерферометра Жамена, його загальну оптичну схему.
4. Що собою являє шахтний інтерферометр ШИ-11? Які особливості призначення і використання газоаналізатора?
5. Що розуміють під рефракцією? Для чого призначений рефрактометр? Чим вирізняється інтерференційний рефрактометр? Який основний принцип роботи?
6. Що буде з інтерференційною картиною у рефрактометрі, якщо в одній з кювет середовище неоднорідне (має неоднаковий показник заломлення в різних ділянках кювети)? Чи можна проводити рефрактометрію?
7. Від яких фізичних параметрів залежить зміщення інтерференційних смуг у газовому рефрактометрі?
8. Що розуміють під показником поляризації молекули? У яких одиницях його вимірюють?
9. Від чого залежить показник рефракції розрідженого газу?
10. Порівняйте порядок величини показника рефракції газів при нормальних умовах з табличними даними.

4.2. Знаходження товщини плоскопаралельної пластинки на інтерферометрі Майкельсона 85

~~4.2~~ Знаходження товщини плоскопаралельної пластинки на інтерферометрі Майкельсона

Відомий експеримент по впливу руху Землі на швидкість руху світла і на виявлення гіпотетичного ефіру проведений у 1881 році А.Майкельсоном. Швидкість світла виявилась незалежною від швидкості джерела випромінювання, експеримент був одним із основних у створенні теорії відносності А.Ейнштейном. Дослід мав високу точність, був поставлений на приладі, який отримав назву інтерферометра Майкельсона. Існують різноманітні конструкції і модифікації інтерферометрів Майкельсона. В лабораторній роботі використаний тип інтерферометра, який був в основі історичного досліду і є основою багатьох сучасних оптично-електронних приладів.

Інтерферометр Майкельсона складається (Рис.4.6): із джерела світла S з оптичною системою L_1 для створення паралельного пучка світла невеликої ширини і з плоским фронтом хвилі; світлороздільної пластинки $СП$ з діелектричним плівковим покриттям для ефективного розділення світла⁶ і нахиленого під кутом 45° до падаючого пучка променів; двох дзеркал Z_1 і Z_2 перпендикулярних до променів і розташованих на однаковій відстані від пластини $СП$; оптичної системи $L_2 - L_3$ для спостереження інтерференційної картини. Один промінь відбивається від задньої поверхні світлороздільної пластини, падає на дзеркало Z_1 , відбивається від нього і проходить через пластину. Промінь, що пройшов через пластину, відбивається від дзеркала Z_2 і відбивається від $СП$. Відбувається також ділення світлового потоку на паралельній площині без діелектричної плівки, утворюються три пучки. Центральний пучок виділяється по інтенсивності і по контрастності інтерференційних смуг. Інші пучки рознесені товщиною пластинки і тому можна легко відітнути відповідними діафрагмами. Діелектрична плівка підбирається

⁶Без світлороздільної плівки на поверхні скла світло, що пройшло, у 15-30 разів більше за відбите.

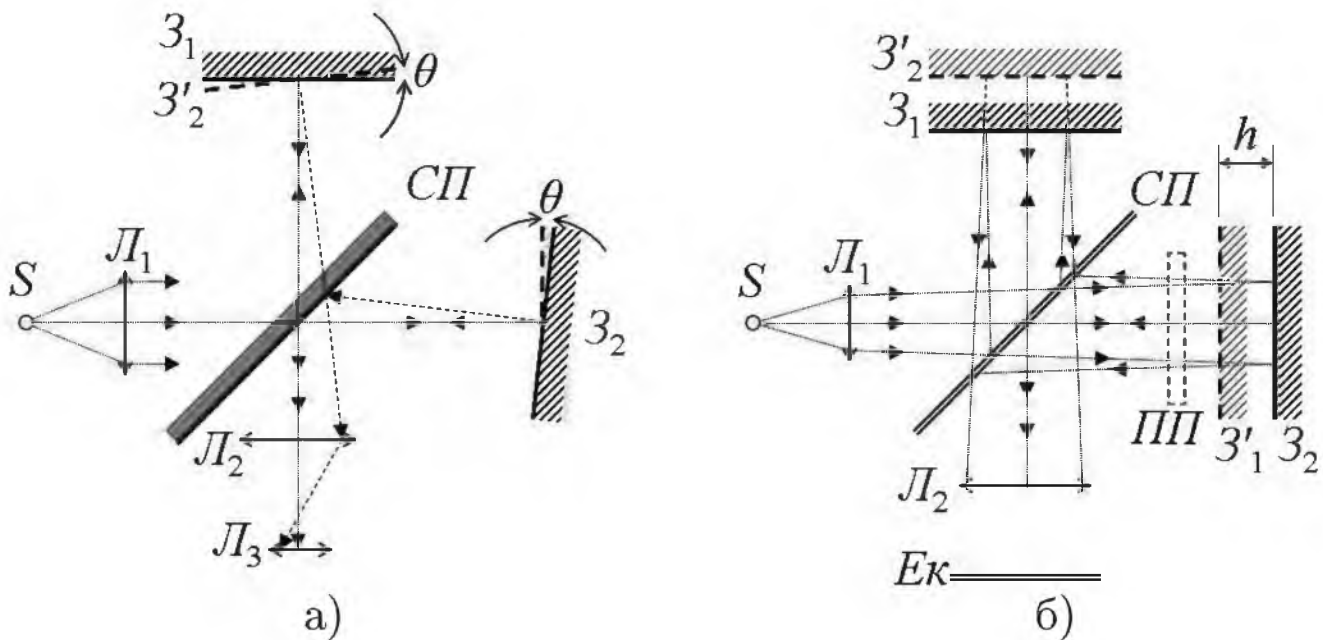


Рис. 4.6. Принципові схеми інтерферометра Майкельсона для спостереження ліній рівного нахилу (а) і рівної товщини (б).

такою, щоб основні інтерференційні пучки світла мали однако-ву інтенсивність.

Рис.4.6.а відображає схему спостереження ліній рівної товщини. Якщо дзеркало Z_2 нахилити під малим кутом θ , то відображення Z'_2 у світлороздільній пластині приводить до локалізації інтерференційних смуг на поверхні клина утвореного поверхнями дзеркала Z_1 і уявного дзеркала Z'_2 (однаково розглядати сходження променів на клині $Z_1-Z'_2$ чи на клині Z'_1-Z_2). Оптичну систему $L_2 - L_3$, налаштовують на зображення ліній рівної товщини в площині їх локалізації на поверхні клина $Z_1-Z'_2$. Нахилом одного із дзеркал два уявні джерела S_1 і S_2 рознесені поперек напрямку інтерферуючих пучків.

Рис.4.6.б зображає схему спостереження ліній рівного нахилу. Дзеркало Z_2 має уявне відображення Z'_2 у світлороздільній пластині. На рисунку показаний ледь розбіжний пучок світла: якщо оптична схема відюстована так, що центри кривизни обох пучків будуть співвісні з лінзою L_2 , то інтерференційні смуги будуть мати вигляд концентричних кілець. У лабораторному експерименті інтерференційна картина лазерного випромінювання

4.2. Знаходження товщини плоскопаралельної пластинки на інтерферометрі Майкельсона 87
спостерігається на екрані Ek за лінзою L_2 . Якщо дзеркало Z_2 знаходиться на відстані h дальше за дзеркало Z_1 , то різниця ходу у плечах $\Delta = 2h$. До дзеркала Z_2 і від нього хвиля проходить двічі відстань h , Рис.4.6.б. Два уявні джерела S_1 і S_2 рознесені вздовж інтерферуючих пучків. Інтерференція спостерігається на далекій відстані від дзеркал Z_1 - Z_2 .

У експериментах можуть використовуватись оптичні елементи чи досліджувані зразки, які встановлюються в одне з плечей інтерферометра. У роботі проводиться експеримент із плоскопаралельною пластинкою $ПП$ зображеною пунктирною лінією на Рис.4.6.б.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Інтерферометр Майкельсона встановлюється на малому голографічному столі. Джерелом світла є He-Ne лазер, $\lambda = 0,6328$ мкм закріплений на рейтерах, дає когерентний паралельний пучок променів, тому не застосовується об'єктив L_1 (Рис.4.6.б). Рейтери світлороздільної пластини $СП$ і дзеркал Z_1 і Z_2 мають засоби юстування нахилу у двох взаємноперпендикулярних площинах. Рейтери із дзеркалами можуть переміщатися вздовж мінілав, одне вздовж лазерного променя, що пройшов через пластину $СП$, інше – вздовж променя відбитого. Закріплюються рейтери на лаві гвинтами при основі. При кожному переміщенні довільного із дзеркала потрібно повторювати юстування інтерферометра. Навпроти дзеркала Z_1 знаходиться екран з міліметровою шкалою. Короткофокусна лінза L_2 збільшує інтерференційну картину.

Інтерферометр Майкельсона, складний для юстування у видимому світлі, доволі простий для роботи з лазерним джерелом. Але вимагає акуратної роботи. Найменші поштовхи стола приводять до розмивання інтерференційної картини. Інтерферометри, здебільшого, чутливі до вібрацій, до неоднорідності середовища, у якому знаходяться. Якщо у одне із плечей інтерферометра Майкельсона направити потік теплого повітря феном, то інтерференційна картина попливе. Інтерференційні смуги бу-

дуть змінюватися відповідно до змін перепадів густини і температури. Незначні поштовхи стола з інтерферометром дають незамітні оком коливання, смуги інтерференції на час збурення щезають.

У інтерферометрах всі оптичні елементи потребують жорстко кріплення на одній станині. Інтерферометр Майкельсона, при довготривалих і точних вимірюваннях, встановлюють на спеціальній голографічній платформі із захистом від вібрацій.

Юстування інтерферометра

1. Лінза L_1 відсутня, лінзу L_2 приберіть з оптичної схеми (Рис.4.6.б). Дзеркало Z_1 встановіть якомога далі від світлороздільної пластини $СП$. Приблизно на такій самій відстані встановіть дзеркало Z_2 в другому плечі.
2. Відюстуйте дзеркало Z_2 , щоб відбитий промінь попадав назад у вікно випромінювача-лазера або під вікно впритул. При направленні пучка лазера назад в резонатор може відбуватись деяке розбалансування випромінювача.
3. Відюстуйте Z_1 і $СП$ так, щоб відбитий від дзеркала Z_1 промінь співпадав із відбитим променем від Z_2 на вікні лазера і, в той же час, пучки від обох дзеркал точно співпали на екрані.
4. На екрані, у плямі накладання пучків, уже можна побачити невеличку чітку інтерференційну картину у вигляді кільця. Встановіть лінзу L_2 . Інтерференційна картина буде збільшена. Проведіть додаткове юстування дзеркал. При повороті нахилів у двох взаємноперпендикулярних площинах отримаєте лінії тим ширші, чим точніше налаштування. При максимальній ширині смуг повинні з'явитись видимі концентричні кільця в центрі світної плями на екрані. Юстуванням дзеркал можна отримати вертикальні чи горизонтальні смуги і регулювати їх ширину.

4.2. Знаходження товщини плоскопаралельної пластинки на інтерферометрі Майкельсона **89**

5. Зверніть увагу на ширину інтерференційних ліній для центральних кілець. Одне з дзеркал перемістіть якомога ближче до пластини *СП*. Відюстуйте інтерферометр. Чи змінилась ширина центральних кілець? Поясніть результат.

Дослід. Знаходження товщини плоскопаралельної пластинки по зміщенню інтерференційних смуг

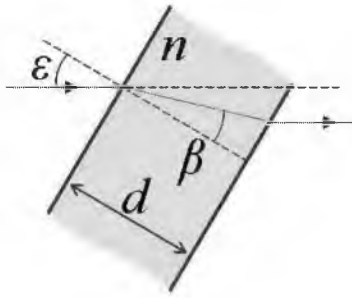


Рис. 4.7.

Встановленням плоскопаралельної скляної пластини *ПП* у одне із плечей інтерферометра (Рис.4.6.б) міняється оптична різниця ходу інтерферуючих пучків світла. При повороті пластинки товщини *d* з положення нормального падіння променів $\varepsilon = 0$ на малий кут $\varepsilon \neq 0$ промінь світла заломлюється на кут $\beta = \frac{\varepsilon}{n}$

за законом Снеліуса. Оптичний хід променя збільшується у склі

$$\Delta_{\text{ск}} = \left(\frac{d}{\cos \beta} - d \right) n \quad (4.9)$$

і зменшиться у повітрі

$$\Delta_{\text{п}} = \frac{d}{\cos \beta} \cos(\varepsilon - \beta) - d. \quad (4.10)$$

Додатковий хід променя в обидві сторони у плечі інтерферометра:

$$\Delta_{\varepsilon} = 2(\Delta_{\text{ск}} - \Delta_{\text{п}}) = \Delta m \lambda. \quad (4.11)$$

Кут $\varepsilon < 0,1$ рад – малий. Розкладом в ряд Тейлора функції косинус з врахуванням членів до другого порядку малості $\cos \varepsilon = 1 - \frac{\varepsilon^2}{2}$ і застосуванням закону Снеліуса

$$\Delta_{\text{ск}} = d n \frac{\beta^2}{2} = d \frac{\varepsilon^2}{2} \frac{1}{n}, \quad \Delta_{\text{п}} = d \left(\frac{\beta^2}{2} - \frac{(\varepsilon - \beta)^2}{2} \right) = d \frac{\varepsilon^2}{2} \left(\frac{2}{n} - 1 \right);$$

підстановкою у (4.11)

$$d = \frac{\lambda n}{n - 1} \frac{\Delta m}{\varepsilon^2} \quad (4.12)$$

Кут ε між пластинкою і лазерним пучком знаходиться по шкалі підставки для оптичних елементів

$$\varepsilon = \frac{x - x_0}{L}, \quad (4.13)$$

L – відстань від осі повороту до кінця стрілки вказана на приладі; $x - x_0$ – довжина дуги, яку стрілка описує при повороті, x – координата дуги.

1. Встановіть дзеркала на однаковій відстані від пластини *СП*. Юстуванням дзеркал отримайте чіткі вертикальні інтерференційні смуги шириною 5 – 10 мм поперек шкали на екрані. Вставте плоскопаралельну скляну пластинку *ПП* між пластиною *СП* і дзеркалом Z_2 у підставку для оптичних елементів. Підставка має шкалу повороту і кріпиться на стіні кронштейном не залежно від стола, на якому знаходиться інтерферометр. Торкання кронштейна не приводить до розмивання інтерференційних смуг через вібрацію.
2. Знайдіть положення пластинки *ПП* перпендикулярне до лазерного пучка $\varepsilon = 0$. Із такого положення повороти пластинки в одну і в другу сторону приводять до зміщення інтерференційних ліній тільки в один бік. По шкалі повороту занотуйте положення стрілки x_0 .
3. Повертаючи пластину до зміщення інтерференційних смуг на $\Delta m = 1, 2, \dots$ фіксуйте відповідні зміщення стрілки x . Заповніть Табл.4.1 не менше як для 5 різних значень Δm .
4. Знайдіть коефіцієнт апроксимації лінійної регресії $\Delta m(\varepsilon^2)$, обчисліть товщину пластинки (4.12) і точність її знаходження.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть особливості юстування інтерферометра Майкельсона.

Табл. 4.1.

Δm	$x - x_0$, мм	ϵ^2 , рад ²	$\Delta\epsilon^2$, рад ²
1			
2			
...			

2. Як міняється інтерференційна картина у інтерферометрі Майкельсона, якщо неоднакові плечі? Що відбувається при невеликому нахилі одного із дзеркал, як міняється ширина ліній і їх форма? Чому?
3. Чим відрізняються інтерференційні схеми ліній рівного нахилу і рівної товщини? Де розташовані уявні джерела в кожній із схем?
4. Що зміниться, якщо застосувати замість пластини з світлороздільним покриттям звичайну плоскопаралельну пластину без покриття?
5. У схемі ліній рівного нахилу інтерферометра Майкельсона (Рис.4.6.б) на екрані спостерігаються концентричні кільця при відюстованому інтерферометрі. Якщо встановити у одне плече плоскопаралельну пластинку товщини h із показником заломлення n , як зміниться оптична різниця ходу Δ у плечах інтерферометра? Чи зміниться інтерференційна картина? Чи буде змінюватись при невеликих поворотах плоскопаралельної пластини?

4.3. Вимірювання нерівностей оптичної поверхні на мікроінтерферометрі МІІІ-4 93

~~4.3~~ Вимірювання нерівностей оптичної поверхні на мікроінтерферометрі МІІІ-4

Мікроінтерферометр МІІІ-4 називають ще інтерферометром Лінника. Академік В.П.Лінник розробив першу конструкцію приладу. Мікроінтерферометр призначений для вимірювання мікрорельєфності оптичних поверхонь. Поверхню можна бачити візуально у мікроскоп і одночасно спостерігати інтерференційні смуги, визначати розмір дефектів чи глибину рельєфності по викривленню інтерференційних ліній для 10-14-го класів чистоти поверхні по ГОСТ 2789-54. В основі приладу закладений інтерферометр Майкельсона для роботи у видимому світлі.

Інтерферометра Майкельсона для роботи у видимому світлі

Наведені на Рис.4.6 схеми інтерферометра Майкельсона не дадуть інтерференційної картини у видимому світлі. Світлороздільна пластина *СП*, Рис.4.8 ділить світло на два потоки. Той потік, що відбився від покриття на задній поверхні *СП* пройде **тричі** через пластину. Світло відбите від передньої поверхні пластини участі в інтерференції не бере, його відкидають діафрагмою не зображеною на рисунку. Потік другого плеча пройде через пластину тільки **один** раз. У видимому світлі кількість видимих смуг інтерференції невелика: чорно-біла полоса нульового порядку $m = 0$, першого порядку $m = \pm 1$, та ще декілька райдужних смуг. Єдина контрастна смуга нульового порядку у різних довжинах хвиль видимого світла буде незкомпенсованою із-за дисперсії $n(\lambda)$ у пластині⁷. Тому встановлюється компенсаційна плоскопаралельна пластина *ПП*, Рис.4.8.а, виготовлена із того ж скла, що і світлороздільна пластина *СП* і рівна їй по

⁷Інтерферометр може бути відюстований для отримання інтерференційної смуги нульового порядку на довжині хвилі λ_1 у певній точці x_0 інтерференційного поля. $n(\lambda_2) \neq n(\lambda_1)$, в точці x_0 буде інший порядок інтерференції для хвилі довжини λ_2 . Інтерференційні поля для різних довжин хвиль різні, інтерференційна картина розмита.

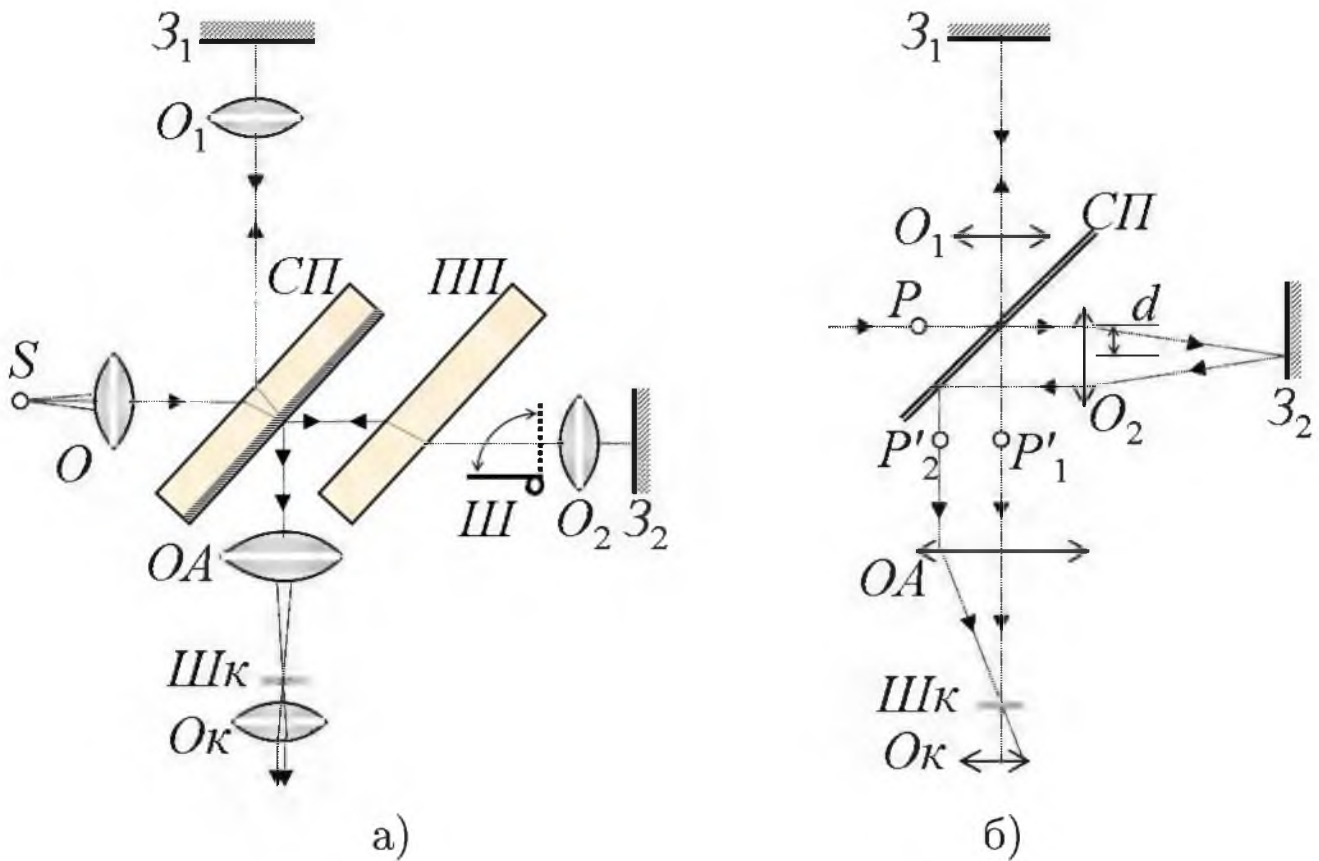


Рис. 4.8. а) Принципова схема мікроінтерферометра. б) Регулювання ширини інтерференційних смуг зміщенням об'єктива O_2 .

товщині. Встановлене положення пластини $ПП$ паралельно $СП$ забезпечує необхідну рівноправність плечей і співпадання для всіх довжин хвиль інтерференційного максимуму $m = 0$.

З лазерним випромінюванням нема такої проблеми рівноправності плечей через високу ступінь монохроматичності лазерного пучка світла і можливістю спостереження інтерференційної картини високих порядків інтерференції. Але мікроінтерферометр призначений крім спостереження інтерференційних смуг ще й для візуального спостереження поверхні у видимому світлі.

Мікроінтерферометр Лінника

Основою мікроінтерферометра Лінника є інтерферометр Майкельсона Рис.4.8.а. Джерело світла, світлофільтр, конденсор – система лінз направлення світлового потоку у прилад, не

4.3. Вимірювання нерівностей оптичної поверхні на мікроінтерферометрі МІІІ-4 95

зображені на рисунку. Світло направляється у діафрагму S , її зображення об'єктив O проектує у інші діафрагми P_1 і P_2 , які є вхідними зрачками однакових мікрооб'єктивів O_1 і O_2 . Точки P_1 і P_2 є фокусними точками об'єктивів O_1 і O_2 . Схематичний Рис.4.8.б. зроблений так⁸, що точки P_1 і P_2 знаходяться перед світлороздільною пластинкою, тому збігаються у один вхідний зрачок P . Світна точка P проектується об'єктивами O_1 і O_2 на нескінченність, є когерентним джерелом світла для інтерференції між пучками відбитими від дзеркал Z_1 і Z_2 . Дзеркало Z_2 є еталоном. Відносно еталонної поверхні контролюється поверхня зразка Z_1 . Якщо зразок має гладку поверхню, то інтерференційні лінії рівні, у протилежному випадку – лінії викривлені пропорційно нерівностям.

Ахроматична лінза OA разом із мікрооб'єктивом O_1 проектує зображення поверхні Z_1 у площину знаходження шкали $Шк$. То ж у окуляр Ok ведуться спостереження зображення поверхні Z_1 та інтерференційних ліній.

Створення ліній рівної товщини у такій схемі має недолік спостереження. Дзеркала Z_1 і Z_2 юстуються до співпадання площин Z_1 і уявної поверхні Z'_2 – відображення Z_2 у світлороздільній пластині. Відстань між ними $h = 0$. Нахилом дзеркала Z_2 можна задавати товщину клина і отримувати інтерференційні смуги шириною залежною від кута нахилу. Будуть рознесені уявні зображення джерела (проміжні зрачки) P'_1 і P'_2 поперек інтерферуючих пучків (вздовж площини лінзи OA). При цьому дзеркало Z_2 виходить із площини фокусування зображення у окулярі Ok , тому чіткими будуть тільки смуги біля осі повороту дзеркала Z_2 . Поле зору інтерференційної картини надто мале.

У приладі передбачено зміщення вісі мікрооб'єктива O_2 паралельно оптичній вісі схеми (Рис.4.8.а). Великою зміщення d задається рознесення проміжних зображень P'_1 і P'_2 вздовж площини лінзи OA . Більшому значенню d відповідають вузьчі смуги. Зображення дзеркала Z'_2 залишається паралельним дзер-

⁸ Детальний розгляд оптичної схеми можна подивитися у паспорті приладу і у спеціальній літературі (див. [?], стр. 183-190)

калу Z_1 , поле зору не зменшується. Також вісь об'єктива O_2 можна повертати навколо оптичної осі і тим самим міняти напрям інтерференційних ліній видимих у окулярі.

Зразок Z_1 встановлюється на предметний столик розміщений над об'єктивом O_1 . Відстань між поверхнею Z_1 і об'єктивом O_1 міняється мікрометричним гвинтом, наводиться різкість зображення поверхні Z_1 у мікроскоп. Для зручнішого фокусування передбачено перекриття іншого плеча шторкою Ш. Після налаштування зображення шторка відкривається, спостерігаються одночасно і поверхня Z_1 , і інтерференційні лінії.

ОПИС МІКРОІНТЕРФЕРОМЕТРА МИИ-4

Інтерференційна головка МИИ-4 міститься на масивній основі. Основа встановлена на гумовому килимку для зменшення дії сторонніх вібрацій при роботі приладу. На Рис.4.9 зображення верхньої частини – головки інтерферометра. Всередині інтерференційної головки світлороздільна і плоскопаралельна пластинки. Зверху знаходиться предметний столик $Ст$ для зразків. Столик можна повертати навколо осі. Також столик можна зміщати горизонтально в двох взаємоперпендикулярних напрямках за допомогою мікрометричних гвинтів $МГ_1$. Ціна поділки кожного гвинта 0,005 мм. По центру столика є отвір. В ньому знаходиться мікрооб'єктив O_1 . В основі приладу є ще один мікрометричний гвинт $МГ_2$ з ціною поділки 0,003 мм, який задає вертикальне переміщення столика, дозволяє регулювати відстань від поверхні зразка до мікрооб'єктива O_1 . Поверхня столика і поверхня зразка може не співпадати при роботі із сферичними чи циліндричними поверхнями (лінзами).

В лівій частині головки знаходиться світильник $СВ$ із лампою розжарювання (9 Вт) і оптична система створення направленої пучка паралельних променів у інтерферометрі. Положення нитки розжарення відюстоване трьома гвинтами один раз, не потребує додаткового юстування. Поворот кільця $Кс$ зменшує кількість світла, змінюється розмір польової діафрагми у схемі освітлення. Повзунок $СФ$ має отвір для роботи приладу у

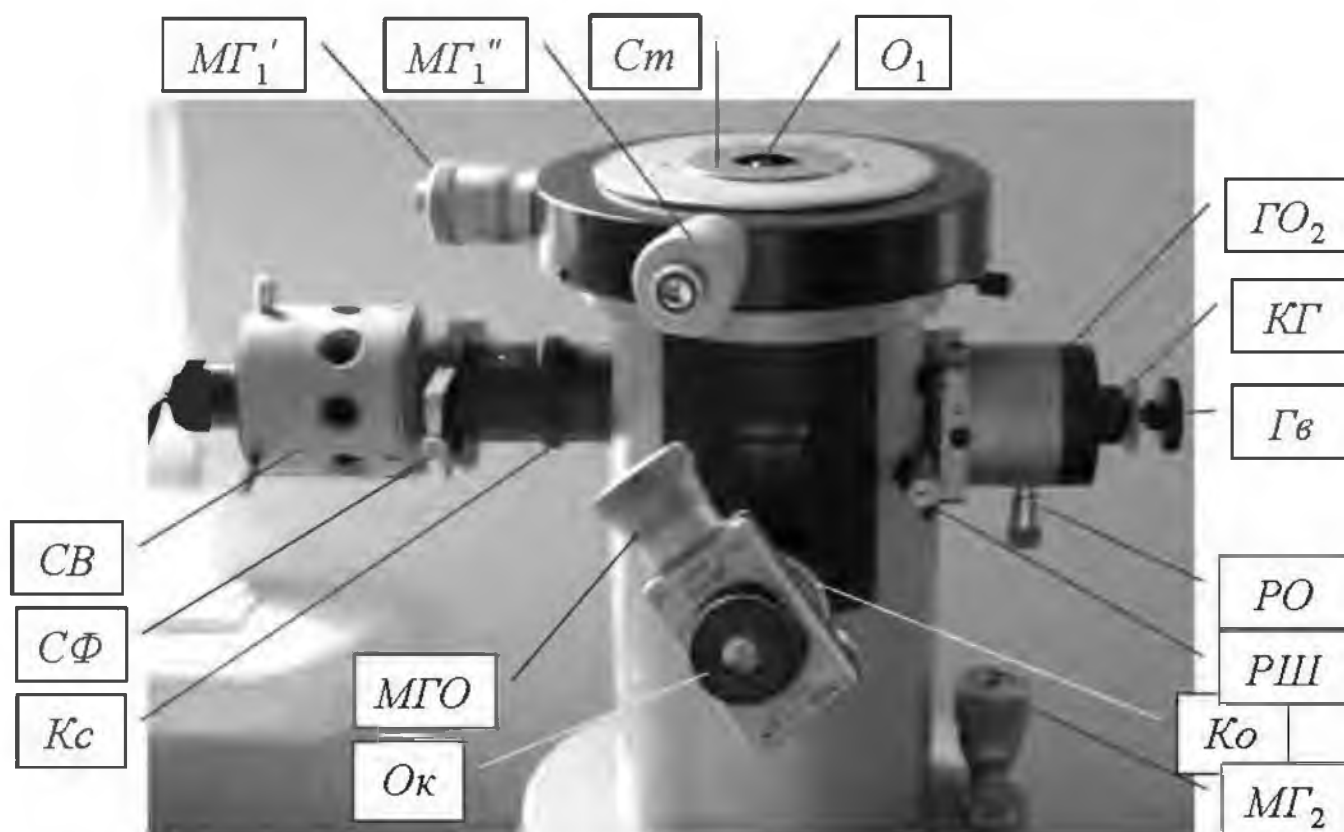


Рис. 4.9. Оптична головка мікроінтерферометра МІІІ-4.

видимому світлі і "зелений" та "жовтий" світлофільтри монохроматизації світла.

В правій частині інтерферометра – головка об'єктива GO_2 із об'єктивом O_2 . На ній знаходиться ручка шторки $PIII$. На ручці зображена стрілка. При горизонтальному положенні стрілки шторка відкрита. Поворотом ручки навколо осі шторка перекриває плече інтерферометра. Інша ручка PO при повороті навколо себе, своєї вісі, зміщає вісь об'єктива O_2 , міняється ширина інтерференційних смуг. Обертанням ручки PO навколо головки GO_2 міняється напрямок інтерференційних ліній спостережуваних у окулярі Ok . Гвинт Gv і контрагайка KG служать для юстування інтерференційних смуг. Юстувальним гвинтом Gv потрібно користуватись з обережністю і тільки при відпущеній контрагайці KG .

Тубус мікроскопа із окуляром Ok направлений на користувача, який сидить за лабораторним столом із приладом МІІІ-4. Окуляр має мірні лаштунки: мірну сітку із поділками, перехрестя із двох перпендикулярних штрихів. Перетин ліній перемі-

щається мікрометричним гвинтом $МГО$ окуляра. Ціна поділки гвинта $0,005$ мм. Окуляр можна повертати навколо осі. Якщо в окулярі темне поле зору, то потрібно повернути кільце $К_0$; поворотом кільця вводиться і виводиться дзеркало для направлення променів в окуляр або в основу приладу для фотографування. Детальніше про фотографування в описі приладу.

Технічні характеристики мікроінтерферометра МИИ-4

- збільшення візуального спостереження мікроскопом $490\times$;
- поле зору – $0,32$ мм;
- межі вимірювання нерівностей – $1 \div 0,03$ мкм, що відповідає чистоті поверхні $10 \div 14$ класу по ГОСТ 2789-51;
- дозволяє вимірювати нерівності в $0,1$ інтервалу між полосами, що відповідає величині $0,1 \frac{\lambda}{2} = 0,027$ мкм для світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,54$ мкм.
- Значення довжин хвиль пропускання світлофільтрів: $\lambda_{ж} = 590$ нм, $\lambda_3 = 563,5$ нм.

Вимірювання нерівностей поверхні, глибини рельєфу є локальними і оціночними. Можна проводити контроль рельєфу для різних ділянок поверхні і знаходити середню оцінку шорхovatості.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Налаштування МИИ-4 для контролю поверхні

1. Ввімкніть тумблер блоку живлення світильника, блок знаходиться на столі поряд із приладом. Перекрийте "праве" плече інтерферометра – шторку $РШ$ встановіть вертикально. Поставте зразок на предметний столик. Гвинтом $МГ_2$ налаштуйте на чітке зображення рівної поверхні. Для рівної поверхні положення гвинта буде близьким до мітки з нулем гвинта $МГ_2$.

2. Відкрийте шторку – стрілку P_{III} поверніть у горизонтальне положення. Повинні з'явитись інтерференційні смуги. Поворотом гвинта $M\Gamma_2$ отримайте найбільш різке зображення смуг і поверхні зразка. Якщо не видно інтерференційних смуг, або вони не в центрі поля зору, то їх можна привести в центр поворотом Γ_6 . Але спочатку потрібно відпустити контрагайку $K\Gamma$. Гвинтом потрібно користуватись тільки для налаштування смуг, в інших випадках не рекомендується його торкатись.

3. Горизонтальний напрям смуг задає поворот ручки PO навколо оптичної головки. Ширину смуг задає поворот цієї ручки навколо її власної осі. Нею зробіть остаточні налаштування з чітким зображенням чорно-білої смуги нульового максимуму і зручної ширини спостереження. Переміщенням повзунка на світильнику можна встановити світлофільтр $C\Phi$. Буде вищою контрастність інтерференційної картини, з'являться інші порядки крім нульового, але освітленість зменшиться.

Налаштування можна проводити для циліндричних чи сферичних поверхонь, для них положення гвинта на основі приладу може відрізнитись від мітки з нулем. Роботу з нерівними поверхнями зручніше проводити в монохроматичному світлі.

Дослід 1. Вимірювання дефекту поверхні дзеркала

Кожній смузі відповідає своя різниця ходу від поверхонь Z_1 і Z_2 . Присутність царапини на поверхні досліджуваного зразка Z_1 приводить до викривлення інтерференційних ліній. В місці дефекту оптична довжина ходу хвилі λ більша на проходження в обидві сторони глибини a : $\Delta_{\text{деф}} = p\lambda = 2an$. В повітрі показник заломлення світла $n = 1$

$$a = p \frac{\lambda}{2}. \quad (4.14)$$

Із видимого спектру око найбільше чутливе до випромінювання на довжині хвилі $\lambda \approx 0,54$ мкм. Якщо вимірювання прово-

дяться з одним із світлофільтрів інтерферометра, то відповідно $\lambda = \lambda_{\text{ж}}$ або $\lambda = \lambda_3$.

1. Встановіть зразок на предметний столик. Налаштуйте чітке зображення поверхні і інтерференційних смуг із чорно-білою смугою по центру. Поворотом столика і горизонтальними переміщеннями, виберіть положення з дефектом поверхні (царапиною). В полі зору мікроскопа виберіть заглиблення на поверхні зразка, яке приводить до викривлення не менше половини ширини інтерференційної смуги. За відсутності такого заглиблення на видимій частині поверхні перемістіть зразок до знаходження відповідної нерівності. Задайте зручну для досліду ширину і горизонтальний напрямок смуг. Поворотом столика навколо осі поверніть зразок так, щоб викривлення інтерференційних ліній було перпендикулярним до них.
2. Встановіть штрих окуляра паралельно інтерференційним смугам, щоб він знаходився посередині нижньої темної смуги нульового максимуму. Встановіть показання N_1 за шкалою окуляра і поворотом МГО, Рис.???. Перемістіть штрих до співпадання із серединою верхньої темної смуги, встановіть показання N_2 . Перемістіть штрих до співпадання із максимальним викривленням і встановіть N_3 . $\lambda \sim N_2 - N_1$ – довжина хвилі пропорційна ширині смуги, $\Delta_{\text{деф}} \sim N_3 - N_1$ – максимальна оптична різниця ходу у заглибленні пропорційна максимальному зміщенню інтерференційної смуги. Відношення додаткового ходу променя $2a$ до довжини хвилі λ

$$p = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1}. \quad (4.15)$$

За формулою (4.14) знайдіть глибину нерівності a .

Дослід 2. Вимірювання глибини рельєфу дифракційної ґратки.

Підкладка скляної пластинки має нанесену на поверхню фототермочутливу плівку із записом голограми. Голограма створена в голографічній лабораторії деформацією поверхні плівки наданням їй рельєфу, створенням системи своєрідних рельєфно-фазових решіток. Із-за широти застосування дифракційних ґраток, голографічних засобів запису інформації, виникає потреба контролю глибини рельєфу – важливого фактора ефективності створення голограми, ефективності дифракційної ґратки.

Зразок 1 містить голограму певного зображення. Роздивіться його помістивши голограму під лазерний промінь на відстані 10 – 20 см від екрану. В обох дифракційних максимумах першого порядку з'явиться зображення сформоване променями, які дифрагують на мікрорельєфній поверхні плівки.

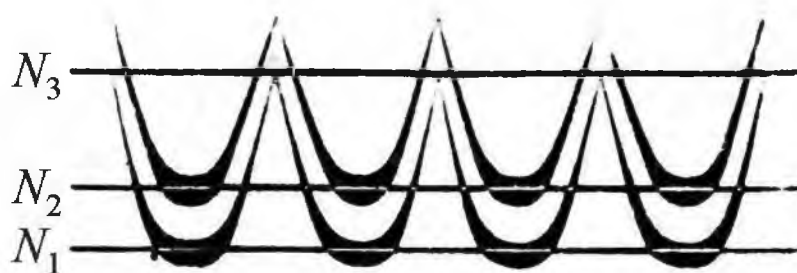


Рис. 4.11.

Встановіть зразок на столик мікроінтерферометра МІІІ-4 плівкою вниз (наклейкою з номером зразка вверху). Встановіть напрям інтерференційних смуг поперек дифракційних вигинів рельєфу (Рис.4.11). Знайдіть значення положень N_1 , N_2 , N_3 зміщеннями мікрометричного гвинта окуляра. За формулами (4.15, 4.14) знайдіть глибину рельєфності. Визначте клас нерівності рельєфу по ГОСТ 2789-54. Класи нерівності приведені в Табл.4.2.

Зверніть увагу на другий набір менше видних у окуляр інтерференційних ліній, присутність ще одного набору інтерференційних смуг. Чіткіші смуги є результатом відбивання від поверхні плівка-повітря, менш чіткі – відбивання від поверхні

Табл. 4.2. Класи нерівності по ГОСТ 2789-54.

Класи	10	11	12	13	14
Нерівн., мкм	0,5-0,8	0,25-0,5	0,12-0,25	0,06-0,12	до 0,06

скло-плівка. Поміряйте товщину плівки d по знаходженню відстані між центральними інтерференційними максимумами двох систем інтерференційних смуг: $\lambda \sim N_2 - N_1$ – ширина однієї смуги, $2dn \sim N_3 - N_1$ – зміщення інтерференційних ліній зумовлене додатковою різницею ходу двічі через товщину плівки. Показник заломлення плівки вказаний на підкладці зразка.

Зразок 2 містить голограму сформовану трьома дифракційними ґратками із рельєфами накладеними під кутом 120° одна на іншу. Область накладання виділена трикутником на нижній поверхні скляної підкладки. В мікроінтерферометрі роздивіться як виглядає голограма на перетині трьох ґраток, як переходить система двох наборів смуг в один на межі плівки. Для цього потрібно переміщати столик мікрогвинтами разом із зразком. Помістіть голограму під лазерний промінь. Подивіться на екрані зображення, яке дає голограма при проходженні променя через різні ділянки голограми.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Навіщо потрібна крім світлороздільної пластини ще пластина компенсаційна у випадку застосування не монохроматичного світла у інтерферометрі Майкельсона? Чи потрібна компенсаційна пластина у випадку лазерного випромінювання? Чому?
2. Чи можна на інтерферометрі Майкельсона спостерігати лінії рівного нахилу у видимому світлі?
3. Чи можна інтерферометр Майкельсона використати для рефрактометрії? Що для цього потрібно?
4. Опишіть основні особливості інтерферометра Майкельсона використаного у інтерферометрі Лінника. Чому інтерфе-

4.3. Вимірювання нерівностей оптичної поверхні на мікроінтерферометрі МІІІ-4 103

рометр Лінника називають мікроінтерферометром? Для чого він використовується?

5. Як у інтерферометрі Лінника регулюється напрямок інтерференційних смуг і їх ширина? В чому особливості оптичної схеми?
6. Від чого залежить точність вимірювання мікроінтерферометра? Яка роль мікрометричних гвинтів, шкали і мікрометричного гвинта окуляра?
7. Чи зміниться інтерференційна картина, якщо царापина буде на дзеркалі Z_2 , а не Z_1 ?
8. Який зв'язок між нерівностями контрольованих за допомогою інтерферометра поверхонь і довжиною хвилі світла?
9. До якої інтерференційної схеми можна віднести інтерференцію у інтерферометрі МІІІ-4 по місцю локалізації інтерференційних смуг? Чи можна таку схему вважати схемою ліній рівної товщини або ліній рівного нахилу?