

ЧАСТИНА ІІ. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЗАГАЛЬНИЙ ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. У процесі підготовки до лабораторної роботи необхідно ознайомитися з її описом за даними методичними вказівками, вивчити теоретичні питання за додатково рекомендованими джерелами, в'яснити мету й завдання досліджень.
2. Перед виконанням роботи кожний студент зобов'язаний надати викладачу заготовлену форму звіту, необхідні розрахунки, таблиці, функціональні та принципіві схеми, виконані у відповідності з ЕСКД.
3. Виконанню роботи передує перевірка готовності студента до роботи. Перевірка проводиться викладачем на початку кожного заняття в наступному порядку:
 - Студент надає всі матеріали, відповідно до п.2; Якщо надані матеріали задовільні, студент отримує питання за темою роботи;
 - При задовільних відповідях студент допускається до виконання роботи.
4. Студенти допущені до виконання роботи, виконують її у відповідності з описом. Робота вважається закінченою після затвердження отриманих результатів викладачем.
5. Після закінчення роботи студент повинен вимкнути всі джерела живлення і прилади, відключити їх від мережі, розібрати схеми дослідження на стенді та привести робоче місце до порядку.
6. Звіт з виконаної роботи оформлюється за встановленим зразком. Студент отримує залік по роботі після представлення оформленого звіту та пояснення отриманих результатів.

ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Нещасні випадки під час проведення лабораторних робіт можуть проходити частіше за все через недотримання правил техніки безпеки. Необхідно мати на увазі, що неакуратність, неуважність, незнання апаратури, поспішки та недостатня підготовка до роботи можуть потягти за собою нещасний випадок. Від студентів, працюючих в лабораторії, вимагається не порушувати самим та зупиняти всіх осіб, які не виконують правила техніки безпеки. Студенти, які не виконують правила техніки безпеки або допустили

порушення, відсторонюються від виконання роботи та притягуються до відповідальності. Перед виконанням лабораторної роботи з метою виключення нещасних випадків, а також поломки обладнання, кожний студент повинен детально ознайомитися з правилами техніки безпеки.

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- приступати до виконання лабораторної роботи без ознайомлення з правилами техніки безпеки;
- вмикати установки без дозволу навчального майстра (викладача);
- доторкатися нагрітих частин лабораторної установки.

СТУДЕНТ ЗОБОВ'ЯЗАНИЙ:

- знати місця розташування та розміщення засобів пожежегасіння та правила користування ними;
- бути уважним та акуратним під час виконання роботи;
- не заважати студентам, які виконують роботу.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ЛАБОРАТОРНИМ ОБЛАДНАННЯМ

Перед початком роботи:

- підготувати робоче місце для безпечної роботи, прибрати всі зайві предмети з лабораторної установки;
- перевірити цілісність заземлення та надійність контакту заземлення.

Після виконання роботи:

- при закінченні роботи або при тривалій перерві вимкнути установку повністю;
- здати свої робоче місце чистим та в повному порядку;
- повідомити викладачу або допоміжному технічному персоналу про всі несправності під час роботи установки.

МОДУЛЬ 1 «ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.1

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕНДОСКОПІЇ

Прилади, що використовують особливості розповсюдження світла в оптичних волокнах з особливим розподілом показника заломлення, - ендоскопи широко використовують для дослідження порожнинних органів тіла людини.

1. Мета роботи

1. Ознайомитися з ендоскопічним методом дослідження внутрішніх органів людини, способами ендоскопії, класифікацією ендоскопів.
2. Вивчити конструкції гнучкого ендоскопа, жорсткого цистоскопу.

2. Підготовка до роботи

1. Устрій та призначення ендоскопа. Хід променів в світловоді.
2. Умова повного внутрішнього відбиття.
3. Фізичний зміст коефіцієнта заломлення.

3. Теоретичні відомості

3.1 Способи ендоскопії [3, 5]

Ендоскопія проводиться для дослідження стравоходу (езофагоскопія), шлунку (гастроскопія), 12 – палії кишки (дуоденоскопія), прямої і сигмоподібної кишки (ректороманоскопія), товстої кишки (колоноскопія), черевної порожнини (лапароскопія), грудної порожнини (торакоскопія), сечового міхура (цистоскопія).

Назва ендоскопа походить в залежності від органу або порожнини для дослідження якого від призначений. За місцем введення розрізняють наступні ендоскопи: гастроскоп, колоноскоп, ректоскоп, цистоскоп, бронхоскоп, лапароскоп, торакоскоп, астроскоп і т.д.

В залежності від системи передачі зображення ендоскопи розділяються на наступні підгрупи:

- ендоскопи з волоконною оптикою – гнучкі ендоскопи, в оптичній схемі яких використовується гнучкі волоконні світлопроводи для передачі зображення;
- ендоскопи з лінзовою оптикою – ендоскопи, оптична спостережна система яких побудована з використанням лінз;
- ендоскопи тубусні – найпростіші ендоскопи, що представляють собою порожнисту трубку, яка може оснащуватися лупою.

Для використання ендоскопа важливе значення має виконання його робочої частини, тобто тієї частини медичного ендоскопа, яка призначена для

введення в досліджувану область і має форму і розміри, що відповідають анатомічному каналу, по якому вводиться ендоскоп.

В залежності від конструкції робочої частини, ендоскопи розділяють на наступні типи:

- гнучкі ендоскопи – медичні ендоскопи, робоча частина якого може повільно вигинатися в деяких межах;
- жорсткі ендоскопи – медичні ендоскопи, робоча частина якого виконана жорсткою.

При цьому ендоскопи з волоконною оптикою також розділяють на гнучкі ендоскопи з волоконною оптикою і жорсткі ендоскопи з волоконною оптикою [3]

Розрізняють наступні види ендоскопічної діагностики:

- візуальне дослідження;
- біопсія (пункційна, аспераційну, щипцеву, петлеву);
- рентгенівське і рентгеноконтрастне дослідження в ендоскопії;
- струми високої частоти для електрокоагуляції;
- лазер для зупинки кровотечі, за живлення хронічних виразок;
- лікувальна ендоскопія для видалення чужорідних тіл із внутрішніх органів.

3.2 Принцип побудови оптичної схеми ендоскопів

3.2.1 Спостережна система ендоскопа [3]

Спостережна система ендоскопа складається із трьох основних частин: об'єктива 1, системи передачі зображення 2 та окуляра 3 рис.1.1.

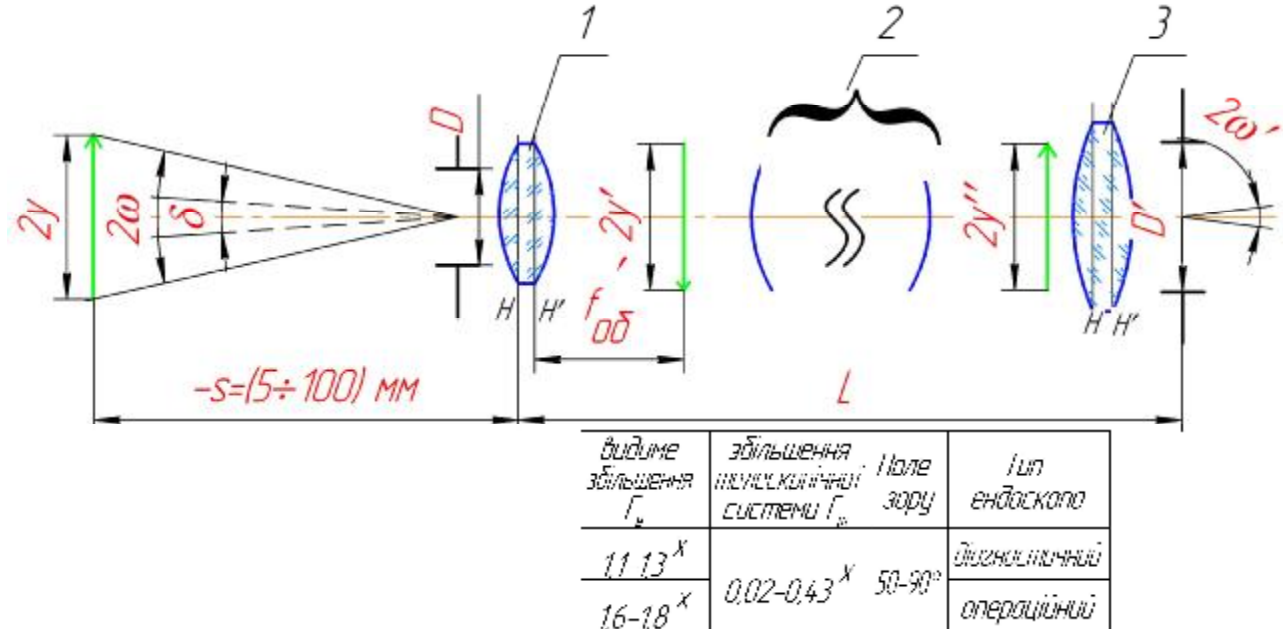


Рисунок 1.1 – Принципова оптична спостережної системи ендоскопа

f'_{oo} - фокусна відстань об'єктива телескопічної системи; 2ω - кутове поле в просторі предметів об'єктива; $2\omega'$ - кутове поле в просторі зображення окуляра; D, D' - діаметри вхідного і вихідного зрачків системи відповідно; d - діоптрійне зміщення окуляра, дптр

За своїм призначенням жорсткі ендоскопи, слугуючи для спостереження внутрішніх порожнин людського тіла, можна віднести до групи мікроскопів, оскільки досліджуваний об'єкт розташований перед об'єктивом на скінченній відстані. Але оскільки маємо декілька особливостей конструкції і роботи, а саме, спостережна система має малу величину числової апертури в просторі предметів; об'єктив має невелику фокусну відстань і малий відносний отвір; робоча відстань змінюється в межах від 10 до 150 мм; відсутнє фокусування системи, то ендоскопи доцільно розглядати як телескопічну систему з обертальною оптичною системою [3, 4].

При розробці оптичної системи ендоскопа необхідно задати оптимальні вихідні параметри: оптичні характеристики; габаритні розміри; якість оптичного зображення.

До основних оптичних характеристик ендоскопів відносять: робочу відстань s (відстань від першої поверхні захисного скла до об'єкту спостереження); кутове поле $2 \cdot w$ в просторі предметів; видиме збільшення Γ ; дозвільна здатність N в площині об'єкту; діаметр D' вихідного зрачка рис.1.1 [3].

Побудова біологічного каналу або досліджуваної порожнини визначає габаритні розміри і оптичні характеристики ендоскопа. Для кожної досліджуваної порожнини визначені оптимальні робочі відстані для яких необхідно розраховувати оптичну систему і задавати оптичні характеристики [3].

Робоча відстань у відповідності із призначенням ендоскопа для різних видів може коливатися в діапазоні від 5 до 100 мм.

Поле зору та збільшення. При спостереженні через ендоскопи, особливо з діагностичною метою, збільшення на робочій відстані задається в межах від 1,1 до 1,3^x. Таке збільшення забезпечує найбільш природне сприйняття внутрішньо порожнинних об'єктів.

Підвищення збільшення призводить до зменшення величини поля зору. Для оглядових і діагностичних ендоскопів необхідно як можливо більше поле зору при невеликому збільшенні. Операційні ендоскопи можуть мати велике збільшення (від 1,6 до 1,8^x) для надійного проведення різноманітних маніпуляцій під візуальним контролем. Поле зору знаходиться в діапазоні від 50 до 90° для жорстких ендоскопів та в діапазоні від 50 до 135° для гнучких ендоскопів з волоконною оптикою [3].

Таблиця 1.1 – Рекомендовані параметри оптики ендоскопів [3]

Досліджувана порожнина	Прилад	Відстань до предмету в робочому середовищі, мм				Робоча відстань в повітрі, мм	Рекомендована робоча відстань в повітрі, мм	Рекомендоване поле зору в повітрі		
		min	max	частіше за все	реком. робоча відстань			на робочій відстані, мм	в перерахунку на відстань 25 мм до об'єкта, мм	кутове град.
Сечовий міхур	Цистоскопи оглядові або діагностичні	5	65	10–35	20	15	16	25–30	37–45	70–80
	операційні і катетеризаційні	5	65	10–35	20	15	16	20–25	30–37	60–70
	дитячі	5	40	10–20	13	10	10	13–16	30–37	60–70
Уретра	Уретроскоп	2	7	–	5	4	4	6–7	30–36	60–70
Шлунок	Гастроскоп діагностичний	5	150	30–100	60	60	60	90–100	40–45	80–90
	операційний	5	100	20–60	40	40	40	60–70	36–40	70–80
Брюшна порожнина	Лапароскоп діагностичний	10	100	20–60	40	40	40	37–45	25–30	50–60
	операційний	10	50	15–40	25	25	25	80	30	60
Бронхи	Бронхоскоп прямого спостереження	15	60	20–40	25	25	25	18–25	18–25	40–50
	бокового спостереження	5	50	10–30	18	18	16	20–25	30–37	60–70
Грудна порожнина	Торакоскопи	5	20	–	10	10	10	15–18	34–40	65–75
Жовчні протоки	Холедохоскоп	7	20	10–15	12	9	10	12–15	28–35	55–65
Гайморова пазуха	Гаймороскоп	3	15	–	6	6	6	12–15	45–56	80–90
Евстахієва труба	Сальпингоманипулятор	5	25	–	10	10	10	13–16	30–37	60–70

3.2.2 Узагальнена схема ендоскопа з волоконною оптикою [3]

Створення медичних ендоскопів, що вигинаються дистальним кінцем стало можливим з появою волоконної оптики. Номенклатура ендоскопів з волоконною оптикою (фіброендоскопів), що представлена на світовому ринку, досить різноманітна додаток Б.

Схема датчика з зондом із оптичного волокна приведена на рис.1.2. Тут світлова інформація, випромінююча, відбита або розсіяна об'єктом вимірювання, виділяється за допомогою сенсорної головки, що складається із відповідного об'єктиву і оптичного волокна, і поступає в світловий детектор. Використовуються різні оптичні волокна (одномодові, багатомодові), а також волоконні пучки. Волоконні пучки представляють собою кабель із множини оптичних волокон або конструкцію із множини осердя з загальною оболонкою рис.1.2 а, б. В будь якому випадку загальний діаметр оптоволоконної конструкції – в межах 10 мм. При цьому в багатоосердевому волокні діаметр кожного осердя складає 4-12 мкм, а в волокні типу багатожилкового кабелю кожне оптичне волокно має діаметр 14-30 мкм, тому щільність елементів зображення в першому вища.

В якості джерела світла в залежності від типу датчика використовується лазер або світлодіод [2].

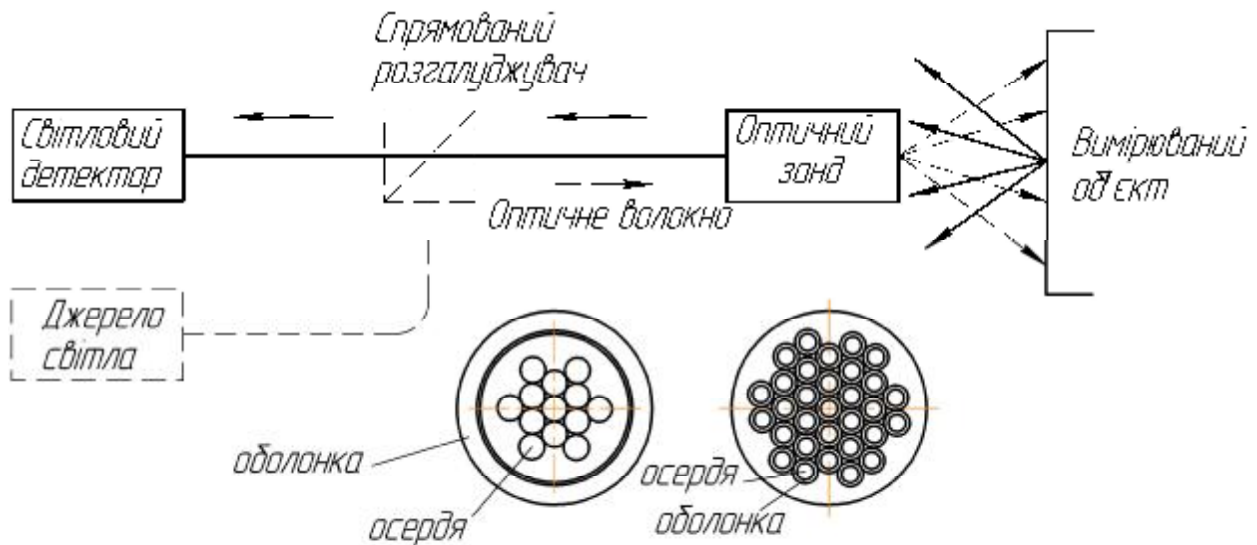


Рисунок 1.2 – Схема датчика з оптичним зондом

Волоконна оптика і світловоди [1, 2]

Оптичне волокно, як показано на рис. 1.3, складається із осердя, по якому розповсюджується світло, і оболонки. Остання, в свою чергу, знаходиться в плетінні, яке захищає поверхню волокна, підвищує його міцність і тим самим спрощує експлуатацію.

Світло із середовища з показником заломлення n (зазвичай повітря) потрапляє в середовище (осереддя) з показником заломлення n_1 і піддається повному внутрішньому відбиттю на грані з оболонкою, яка має показник заломлення n_2 .

Коефіцієнт заломлення n_1 осердя незначним чином перевищує коефіцієнт заломлення n_2 оболонки, тому світло, що введене в осердя з торця волокна, повністю відбивається від границі розділу осердя і оболонки, начебто закривається в осерді і розповсюджується тільки в ньому.

Для повного внутрішнього відбиття світла, що входить в волокно під кутом θ , необхідно, щоб, виконувалась умова [2]:

$$0 \leq q \leq \arcsin(\sqrt{n_1^2 - n_2^2}) = q_{\max} \quad (1.1)$$

Промені світла, що падають на границю розділу під кутом меншим критичного, потрапляють в оболонку і в подальшому поглинається покриттям (захисною оболонкою). Промені світла, що прийшли до границі розділу під кутом більшим критичного, повністю відбиваються, постійно повторюючись, що забезпечує розповсюдження випромінювання вздовж світловоду.

Виходячи із закону заломлення критичний кут може бути зв'язаний з кутом падіння променя в осердя наступною залежністю:

$$n \cdot \sin(\Theta) = n_1 \cdot \sin(90^\circ - a_{кр}) = n_1 \cdot \cos(a_{кр}) = n_1 \cdot \sqrt{1 - \sin^2(a_{кр})} = n_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Оскільки різниця між коефіцієнтами заломлення в осерді і оболонці лежить в межах 0,01, то величину θ_{\max} можна представити в наступному вигляді:

$$q_{\max} \approx \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.2)$$

Кут q_{\max} – це максимально можливий кут, під яким світло може проходити в оптичне волокно, тобто прийматися ним, називається числовою апертурою і позначається NA (Numerical Aperture) [2]

При розгляді оптичних волокон замість різниці n_1 і n_2 частіше всього користуються величиною, що називається відносною різницею коефіцієнтів заломлення [2]:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad (1.3)$$

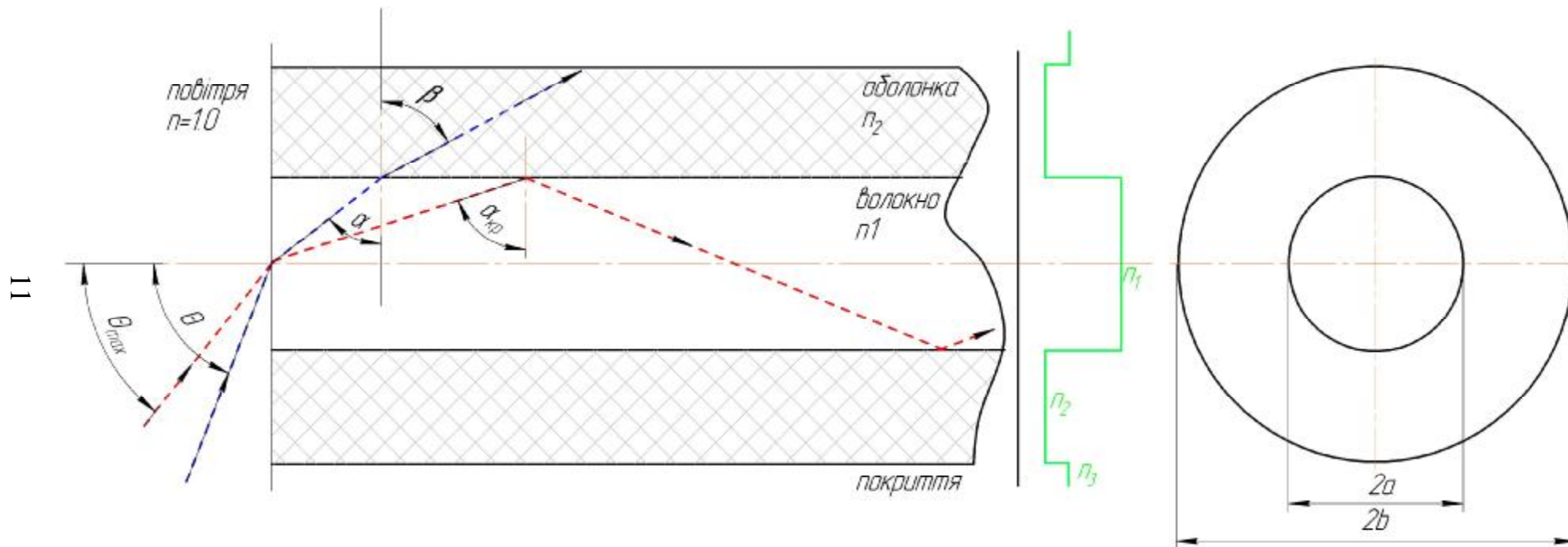


Рисунок 1.3 – Типова структура оптичного волокна і розповсюдження світла в ньому (суцільною лінією показано промінь, який після заломлення виходить із волокна через оболонку; штрихова лінія зображує промінь, що має повне внутрішнє відбиття всередині волокна) [2]

Принципова схема ендоскопа з волоконною оптикою [3]

Не дивлячись на різноманітність гнучких медичних ендоскопі, більшість із них будується за типовою схемою рис.1.4, з розділенням оптичного каналу передачі зображення та освітлювального каналу.

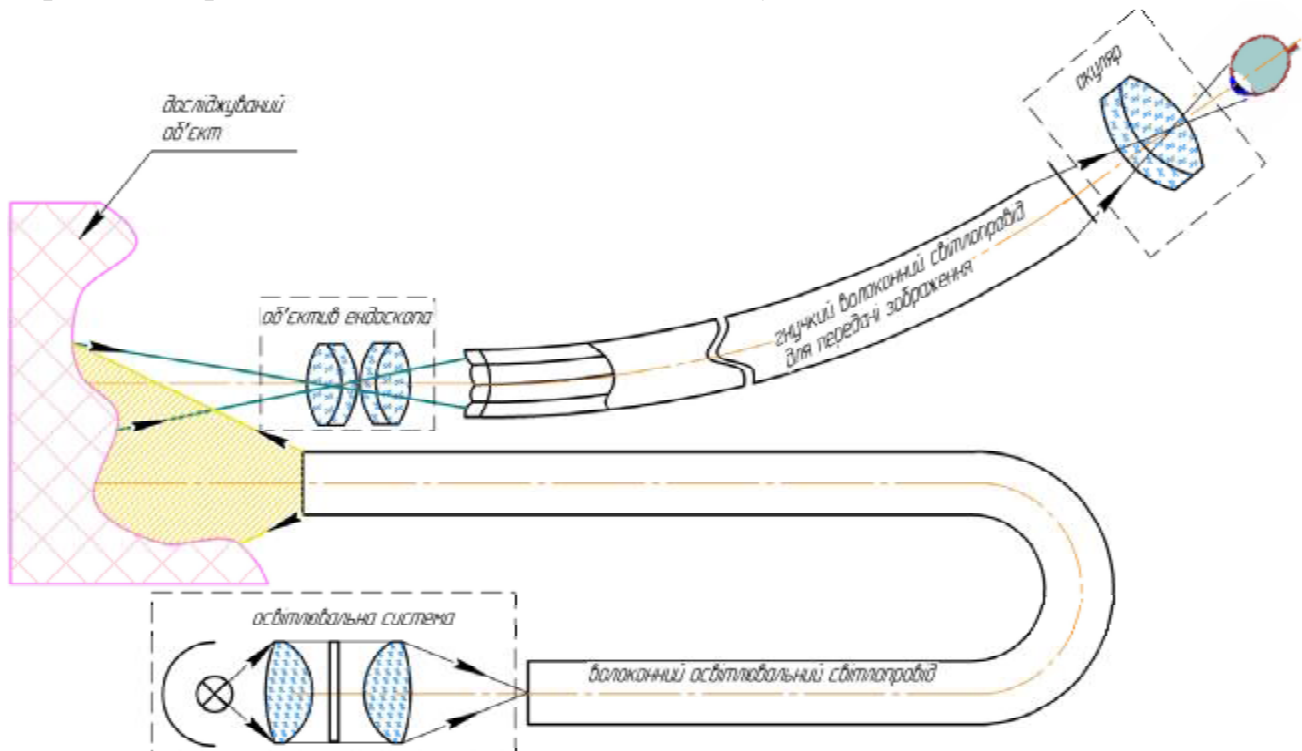


Рисунок 1.4 – Типова схема гнучкого медичного ендоскопа [3]

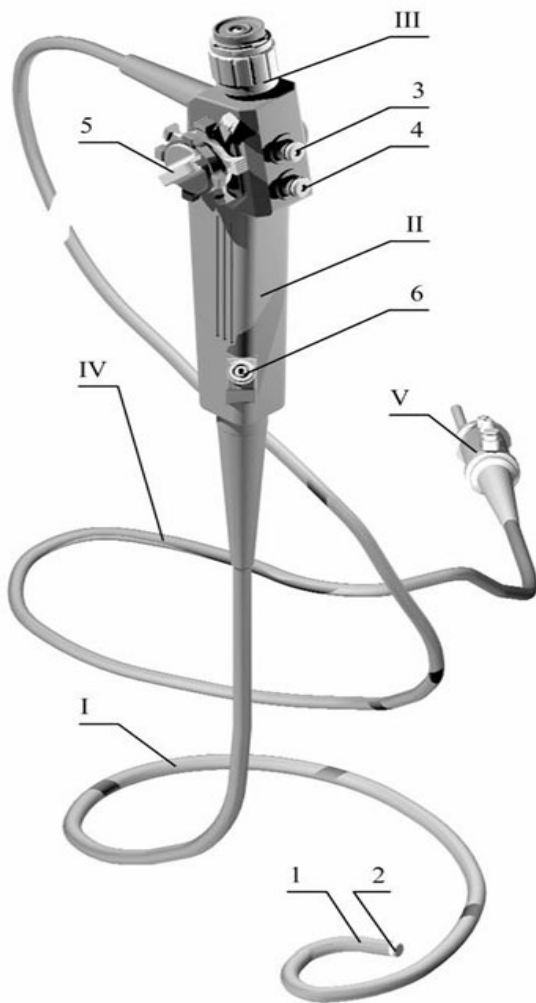
Досліджуваний об'єкт освітлюється джерелом світла за допомогою гнучкого освітлювального світлопроводу. Об'єктив ендоскопа будує зображення досліджуваного об'єкта на входному торці волоконного джгута з регулярною укладкою волокон, який переносить зображення на вихідний торець. Зображення розглядається за допомогою окуляра.

Розглянемо конструкцію ендоскопа зображену на рис.1.5 [3]. Дистальний кінець 1 робочої частини I за допомогою ручок керування 5 може примусово вигинатися під різними кутами в одній або двох площинах, завдяки чому виконується введення приладу і послідовний огляд ділянок досліджуваної порожнини. В середині гнучкої робочої частини розташовані основні функціональні системи приладу: канали передачі зображення і світла, повітря і води, канал 6 для проведення гнучких інструментів, який використовується також для аспірації вмісту порожнини при дослідженні. Канали мають вихід через головку 2 дистальної керованої частини I.

В корпусі II монтуються механічні системи управління вигином дистальної частини, подачею води і повітря та аспірацією. Робоча частина зовні покрита еластичними оболонками, які забезпечують нетравматичне проведення приладу по анатомічному каналу та захищають від потрапляння вологи до внутрішніх комунікацій ендоскопа.

Основою гнучкого ендоскопа є оптична система передачі зображення, яка складається із встановленого в головці 2 об'єктива і гнучкого джгута із

регулярно вкладених скляних ниток, а також окуляр III за допомогою якого розглядається отримане після оптичного джгута зображення з деяким збільшенням.



В загальному вигляді гнучкий ендоскоп рис.1.4. представляє собою гнучку довгу трубку I, що з'єднана з корпусом II, який слугує рукояткою для утримання приладу при експлуатації; на корпусі встановлений окуляр III. Гнучкий кабель IV через роз'єм V з'єднує ендоскоп з зовнішнім джерелом світла, повітря і води.

Рисунок 1.5 – Загальний вигляд гнучкого медичного ендоскопа з волоконною оптикою [3]:

I – гнучка робоча частина; II – корпус; III – окуляр; IV – з'єднувальний кабель; V – роз'єм освітлювача;

1 – керований дистальний кінець; 2 – головка; 3 – кнопка подачі води і повітря; 4 – кнопка керування аспірацією; 5 – ручки управління дистальною частиною; 6 – вхід інструментального каналу

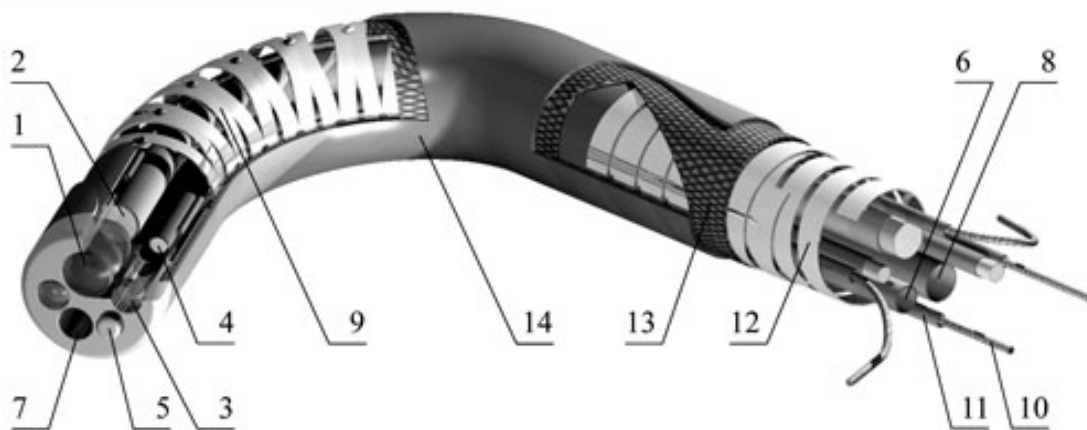


Рисунок 1.6 – Дистальний кінець гнучкого ендоскопа [3]

1 – об'єктив; 2 – регулярний джгут; 3 – лінза освітлювального каналу; 4 – освітлювальний джгут; 5 форсунка; 6 – полімерна трубка; 7 – канал введення хірургічного інструменту; 8 – полімерна трубка; 9 – гнучке з'єднання; 10 – металеві троси управління; 11 – гнучка металева оболонка

Необхідний для огляду внутрішніх порожнин рівень освітлення забезпечується передачею світла через гнучкий скловолоконний світлопровід

(прокладений всередині гнучкої частини ендоскопа і переходить в кабель IV, останній за допомогою стандартного роз'єма V приєднується до зовнішнього джерела світла). Через кабель від джерела також подаються необхідні для проведення дослідження повітря і вода, перемикання яких проводиться за допомогою встановленої в корпусі кнопки 3; аналогічна кнопка 4 слугує для управління аспірацією.

Таблиця 1.2 – Значення основних параметрів гнучких ендоскопів з волоконною оптикою [3]

Основні параметри і розміри	Значення показника для ендоскопа			
	гастроентерологічних	пульмонологічних	оториноларингологічних	загальнохірургічних
Розміри поперечного перетину робочої частини, мм	4,0 – 16,0	2,0 – 6,5	1,0 – 5,0	2,0 – 8,0
Допустиме відхилення розміру поперечного перетину робочої частини, %, не більше	± 10			
Довжина робочої частини, мм	750 – 2000	550 – 700	100 – 700	200 – 700
Допустиме відхилення довжини робочої частини, %, не більше	± 5 до 300 мм ± 4 від 300 до 500 мм ± 3 більше 500 мм			
кут напрямку спостереження	0 – 105°			
Допустиме відхилення кута напрямку спостереження, не більше	± 5° для кутів до 45° ± 10° для кутів більше 45°			
Кут поля зору	80 – 135°	65 – 105°	50 – 90°	60 – 125°
Допустиме відхилення кута поля зору	+15° -10°			
Дозвільна здатність (на розрахунковій робочій відстані) мм ⁻¹ , не менше	1,7 (1,7 – 2,6)	3	1,7	3,5
Допустиме відхилення дозвільної здатності ** (на розрахунковій робочій відстані), %	-10			
Коефіцієнт інтегрального світлопропускання, %, не менше	7			
Кут вигину дистального кінця:				
вверх	120 – 210°	150 – 180° (160 – 180°)*	90 – 180° (130 – 180°)*	30 – 160° (100 – 160°)*
вниз	90 – 200°	30 – 180° (60 – 180°)*	90 – 180°	30 – 160° (100 – 160°)*
вправо	90 – 200°	–	–	–
вліво	90 – 200°	–	–	–
Допустиме відхилення кута вигину дистального кінця ***	+20° -10°			

* для ендоскопів, що випускаються з 1997 р.

** Допуск не обмежений за верхньою межею

*** Для ендоскопів з кутами не більше 60° допуск за верхньої межею не нормується

3.2.3 Оптичні системи жорстких медичних ендоскопів [3]

Розглянемо деякі типи оптичних схем ендоскопів, побудованих з використанням стержнеподібних лінз [3].

Головний об'єктив 1 рис.1.7 а, формує зображення досліджуваних об'єктів в зменшеному вигляді перед першою із обертаючих систем 2 всередині стержнеподібного колективу 3. Отримане зображення послідовно передається за допомогою ряду компонентів до окуляру 4. Окуляр дозволяє розглядати зображення із збільшенням. Недоліком даної схеми є значна величина дистроksії.

Для підвищення якості зображення в роботі [3] пропонується оптична схема рис.1.7 б. Оптична схема містить головний об'єктив 1, який складається із від'ємного 2 і додатного 3 компонентів, обертаючу систему 4 та окуляр 5. Система містить компенсатор 6, встановлений за обертаючою системою на відстані, що не перевищує 2 дптр. від фокальної площини окуляру 5. Окуляр виконано у вигляді від'ємної плоско-ввігнутої 7 та додатної плоско-випуклої лінзи 8, при цьому показник заломлення лінзи 8 більший на 0,2 за показник заломлення від'ємної лінзи 7. Пучки променів, проходячи крізь компенсатор 6, заломлюються на від'ємній 7 та додатній 8 лінзах. Оскільки абераційні властивості оптичної поверхні залежать як від величини і знака її кривизни, так і від кута падіння променів відносно нормалей в місці зустрічі променів з цією поверхнею, то при проходженні пучків крізь лінзи 7 та 8 проходить зменшення дистроksії та покращується якість зображення.

Оптична схема ендоскопа рис.1.7 в може бути виконана двома варіантами орієнтації поверхні склеювання: поверхні склеювання з від'ємною оптичною силою крайніх компонентів ввігнутою поверхнею повернуті до середнього компоненту; теж, випуклою поверхнею до середнього компоненту.

Оптична схема ендоскопа містить головний об'єктив 1, послідовно розташовані однакові симетричні обертаючі системи 2, які складаються із трьох позитивних стержнеподібних подвійно-випуклих компонентів 3, 4 та 5 та окуляр 13. Середній компонент 4 виконаний склеєним із двох плоско-випуклих лінз 6 та 7 та розташованою між ними плоскопаралельною пластиною 8. Найближча до середнього компоненту 4 поверхня склеювання крайніх компонентів 3 та 5 має від'ємну оптичну силу.

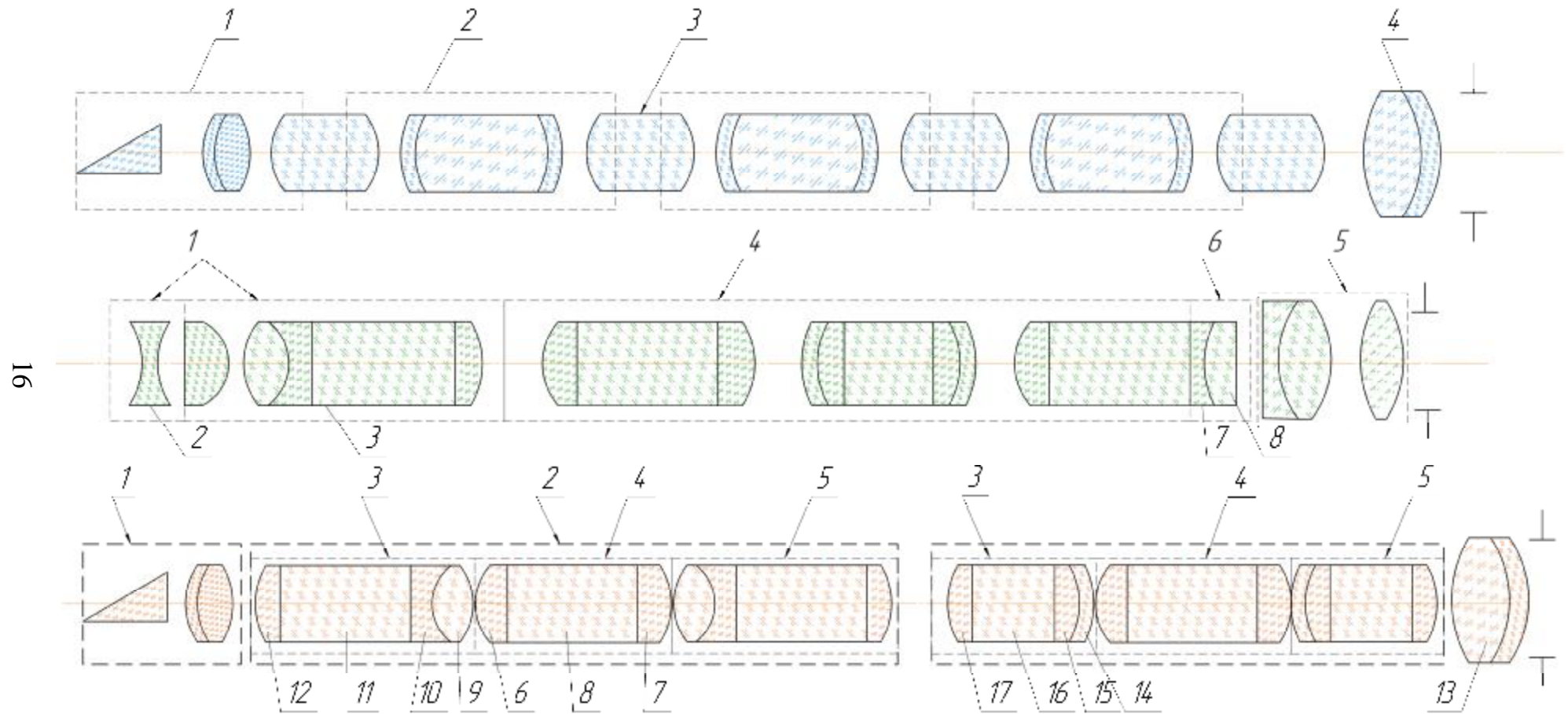


Рисунок 1.7 – Оптичні схеми жорстких медичних ендоскопів [3]

Розглянуті вище оптичні схеми ендоскопів мають загальний недолік – мале віддалення площини вихідного зрачка при використанні короткофокусних окулярів. Це пов'язано з тим, що всі об'єктиви обертаючих систем, системи передачі зображення виконані однаковими з телецентричним ходом головних променів, що зумовлює розташування вихідного зрачка системи в задній фокальній площині окуляра. Окрім того, велика собівартість виготовлення оптичної системи та недостатня надійність її роботи, оскільки кожний із компонентів обертаючої системи склеєний із 2-5 оптичних деталей, що пояснюється необхідністю виправлення повздовжніх аберацій (астигматизм, сферична аберація, хроматизм).

Розглянемо оптичну схему ендоскопа рис.1.8 а з віддаленим положенням вихідного зрачка та спрощеною конструкцією [3]. Оптична схема ендоскопа складається із об'єктива 1, окуляра 2, системи передачі зображення 3. Ця система побудована із послідовно розташованих обертаючих систем 4, кожна із яких складається із двох подвійно-випуклих компонентів 5, 6; 7, 8; 9, 10. Крайні компоненти 5 та 10 виконані однаковими, склеєними із трьох лінз 11, 12, 13. Поверхні склеювання 14 та 15 виконані з від'ємною оптичною силою. Внутрішні компоненти 6, 7, 8, 9 системи передачі зображення виконані однаковими у вигляді простих стержнеподібних лінз.

В залежності від технології виготовлення стержнеподібної лінзи, кожний із внутрішніх компонентів 6, 7, 8, 9 системи передачі зображення 3 може бути виконаний склеєним із випукло-плоскої 14, плоско-випуклої 16 лінз та розташованого між ними стержня 15 з плокопаралельними торцями рис.1.8 б. Для зменшення кривизни зображення лінзи 14 та 16 виконані із скла з більш високим показником заломлення, ніж розташований між ними стержень 15.

Всі розглянуті оптичні схеми ендоскопів містять набори лінз, розділені повітряними проміжками. Така конструкція приводить до зменшення коефіцієнта пропускання та збільшенню розсіяного світла, і, як наслідок, до зменшення контрасту зображення. В роботі [3] пропонується обертаючу систему виконати у вигляді моноблоку 2 рис.1.8 в, який містить на кінцях плоско-випуклі колективи 4, 5 та розташовані між ними парну кількість об'єктивів 6, 7, 8, 9, розділених пластинками 10, 11, 12, 13, 14 з вісевою довжиною, що перевищує товщину об'єктивів.

Зменшення кількості поверхонь, що межують з повітрям, забезпечує підвищення коефіцієнта пропускання оптичної системи та покращення контрасту зображення, побудованого об'єктивом 1.

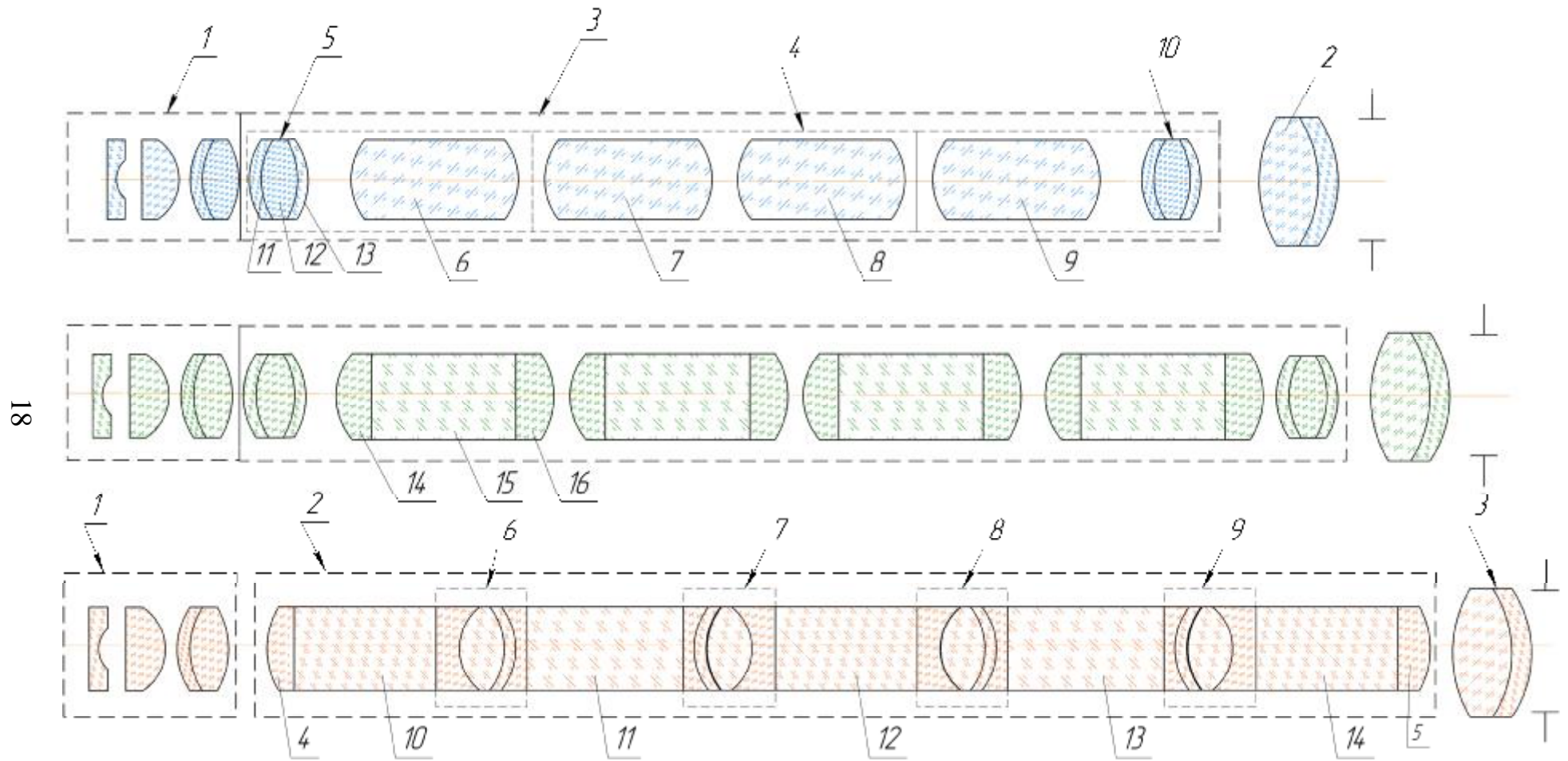


Рисунок 1.8 – Оптична схема ендоскопа з віддаленим положенням вихідного зрачка [3]

Конструкцію жорсткого ендоскопа з лінзовою системою передачі зображення розглянемо на прикладі цистоскопу рис.1.9 [3].

Основними вузлами цистоскопів є: стовбур, діагностична і операційна оптичні трубки, обтуратор, а також гнучкі інструменти.

На відміну від діагностичної трубки, на операційних трубках є пристрій для введення гнучких інструментів і управління ними.

Стовбур рис.1.9, а представляє собою тонкостінну металеву трубку, на дистальному кінці якої є мініатюрна лампа – кльов 6, яка полегшує введення стовбура в досліджувану порожнину; на проксимальному кінці – замок для фіксації в стовбурі змінних вузлів цистоскопа і контактна муфта 5 підключення лампи.

Замок стовбура складається із втулки з внутрішнім конусом і обертального кільця 2 з ручкою 1 для фіксації змінних вузлів. На кожному із змінних вузлів є зовнішній конус (8, 12) рис.1.9 б, в. Конструкція замка забезпечує герметичність з'єднання стовбура із змінним вузлами.

На стовбурі є два бокових крани 3 для введення і відведення рідини при введеній в стовбур оптичній трубці.

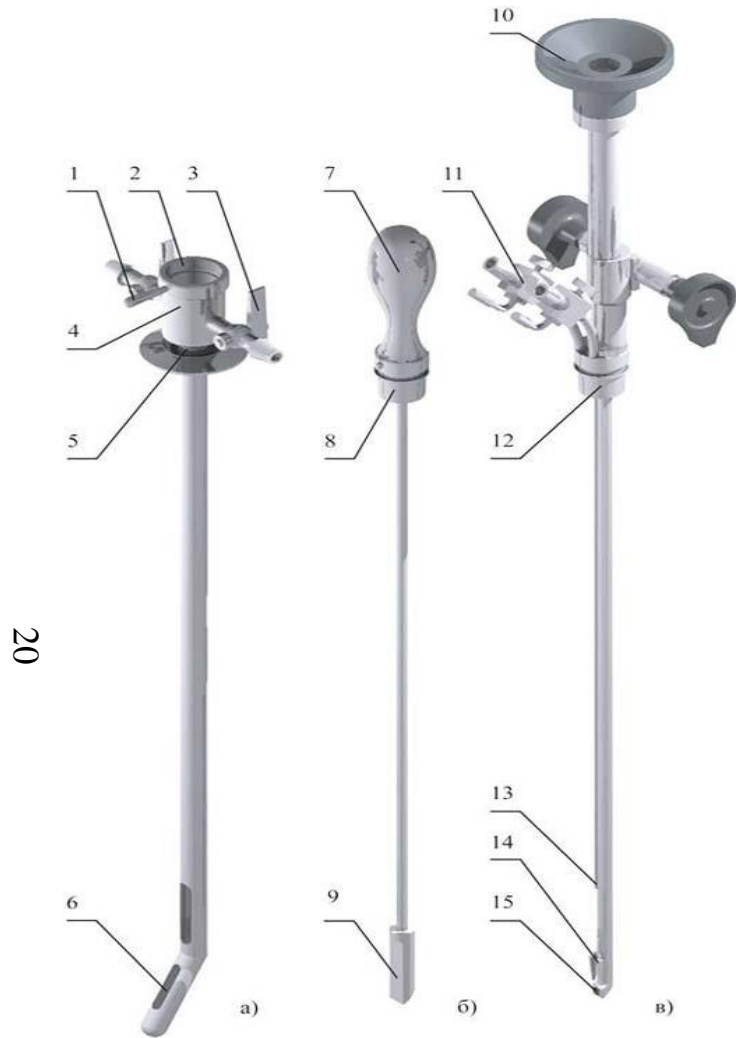
Операційна оптична трубка рис.1.9 в призначена для введення в досліджувану порожнину через патрубки 11 операційних інструментів і спостереження за маніпуляціями, що проводяться.

Більш детально розглянемо конструкцію оптичної трубки, схема якої представлена на рис.1.10. Оптична трубка складається із зовнішньої 22 і внутрішньої 23 трубок. Зовнішня трубка запресована в корпус 19, на який по різьбі встановлюється в корпус 20 з наочником 21, який захищає око спостерігача від стороннього світла. У внутрішній трубці розміщені деталі з 1 по 9. Трубки 22 і 23 з'єднуються пайкою. Лінзи окуляра 14 розміщуються в трубці 24, яка одягається на трубку 23. Призма 17 закріплюється в корпусі 20 за допомогою розрізного кільця 25. Захисне скло 18 приклеюється до наочника, забезпечуючи герметичність приладу. На дистальному кінці зовнішньої трубки розташовано захисне скло об'єктива 1.

Гнучкий інструмент вводиться через патрубки 26 і приводиться в робоче положення підйомним механізмом 14 рис.1.10 в, який управляється тягами 13, які припаяні до рейки 30, що переміщується зубчатим колесом 29 за допомогою ручок управління 28 рис.1.10.

Насипна конструкція установки оптичних елементів забезпечує мінімальний поперечний розмір приладу, повітряні проміжки між оптичними елементами витримуються за допомогою проміжкових кілець 31 визначеної товщини.

Обтуратор рис.1.9 б – це пристрій, який призначений для закриття отвору дистального кінця стовбура для запобігання слизової оболонки від травмування при введенні стовбура в досліджувану порожнину. Обтуратор складається із ручки 7 з конусом, стержня і оливи 9, яка щільно прилягає до країв вікна стовбура. Стовбур цистоскопа повинен вилучатися із порожнини і вводиться в неї сумісно з обтуратором [4].



20

Рисунок 1.9 – Вузли цистоскопа [3]: а) стовбур: 1 – ручка, 2 – кільце, 3 – боковий кран, 4 – втулка з внутрішнім конусом, 5 – контактна муфта, 6 – лампа; б) обтуратор: 7 – ручка, 8 – конус, 9 – олива; в) операційна оптична трубка: 10 – наочник, 11 – патрубок з краном, 12 – конус, 13 – тяги, 14 – під’ємний пристрій 15 – захисне скло об’єктива

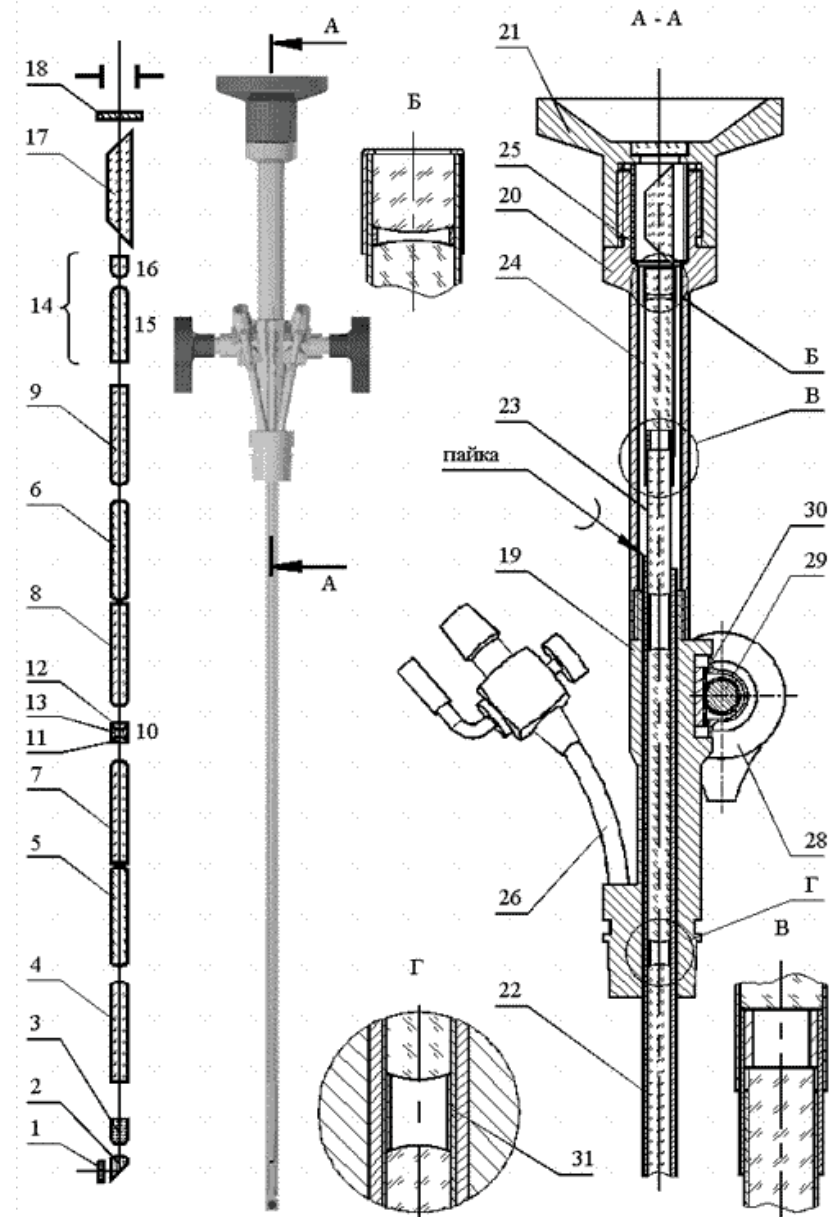


Рисунок 1.10 – Конструкція цистоскопа [3]

4. Виконання роботи

Завдання 1. Вивчення структури світлопровідного джгута.

Переконайтеся, що світлопровідний джгут складається із окремих тонких волокон. Оцініть товщину кожного волокна і переконайтесь в його гнучкості.

Завдання 2. Вивчення роботи світло провідного джгута без лінзи.

Піднесіть джгут до освітленої поверхні. Визначте, на якій відстані від поверхні виникає зображення. Перевірте, чи виникає зображення, якщо поверхня не освітлена.

Завдання 3. Вивчення роботи світлопровідного джгута з лінзою.

Піднесіть джгут до освітленої поверхні. Переконайтесь, що зображення виникає, коли відстань від лінзи до поверхні складає декілька см.

5. Контрольні питання

1. Ендоскопія. Визначення, область використання, способи ендоскопії, класифікація ендоскопів.
2. Види ендоскопічної діагностики.
3. Конструкція гнучкого ендоскопа.
4. Схема передачі світла і зображення в ендоскопі.

6. Література

1. Медицинские приборы. Разработка и применение. – М.: Медицинская книга, 2004. – 720 с.
2. Окоси Т и др.. Волоконно-оптические датчики. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1990. – 256 с.
3. Хацевич Т.Н., Михайлов И.О. Эндоскопы: Учебное пособие. – Новосибирск: СГТА, 2002. 196 с.
4. Русинов М.М. Композиция оптических систем. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. – 383 с.
5. Федотов С.С. Эндоскопическая диагностика. Аппараты для эндоскопии.: Методические указания к лабораторной работе. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1.2

ВИМІРЮВАННЯ РАДІУСІВ КРИВИЗНИ ПОВЕРХОНЬ ОПТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Оптичні деталі із сферичними поверхнями (лінзи, дзеркала) є досить розповсюдженими елементами оптичних систем. Якість зображення багато в чому залежить від того наскільки точно відповідають розрахунковим значенням радіуси кривизни сферичних поверхонь, що отримані при обробці. Тому вимірювання радіусів сферичних поверхонь є обов'язковою операцією як при виготовленні, так і при прийманні оптичних деталей.

1. Мета роботи

1. Ознайомитися з устроєм та принципом роботи сферометра ИЗС-7.
2. Навчитися вимірювати радіуси кривизни сферичних поверхонь оптичних деталей.

2. Підготовка до роботи

1. Похибки вимірювання.
2. Оптична схема автоколімаційного мікроскопа.
3. Вимірювання та контроль конструктивних параметрів оптичних деталей.

3 Теоретичні відомості

3.1 Кільцевий сферометр [1, 2]

Вимірювання радіусів кривизни сферичних поверхонь та перевірка їх форми – важлива контрольна операція при виготовленні оптичних деталей. Відхилення поверхонь від заданої кривизни призводить до погіршення конструктивних характеристик оптичних систем та до погіршення якості зображення. Для вимірювання радіусів кривизни готових виробів використовують різноманітні прилади. Методи контролю можна розділити:

- контактні (метод пробного скла; кільцевий сферометр);
- безконтактні (метод авто колімаційного мікроскопа; метод авто колімаційної зорової труби та інш.)

Кільцевий сферометр дозволяє вимірювати стрілку прогину шарового сегмента поверхні контактним методом. Основна перевага сферометра – висока точність та стабільність вимірювань.

До основних елементів сферометра відноситься комплект опорних кілець із трьома сталевими кульками 1, вимірювальний стержень 2 із шкалою 3 яка підсвічується лампою 4 та відліковий мікроскоп 5. До комплекту також входить скляна пластина, робоча поверхня 6 якої виконана плоскою із точністю 0,1-0,25 інтерференційного кільця.

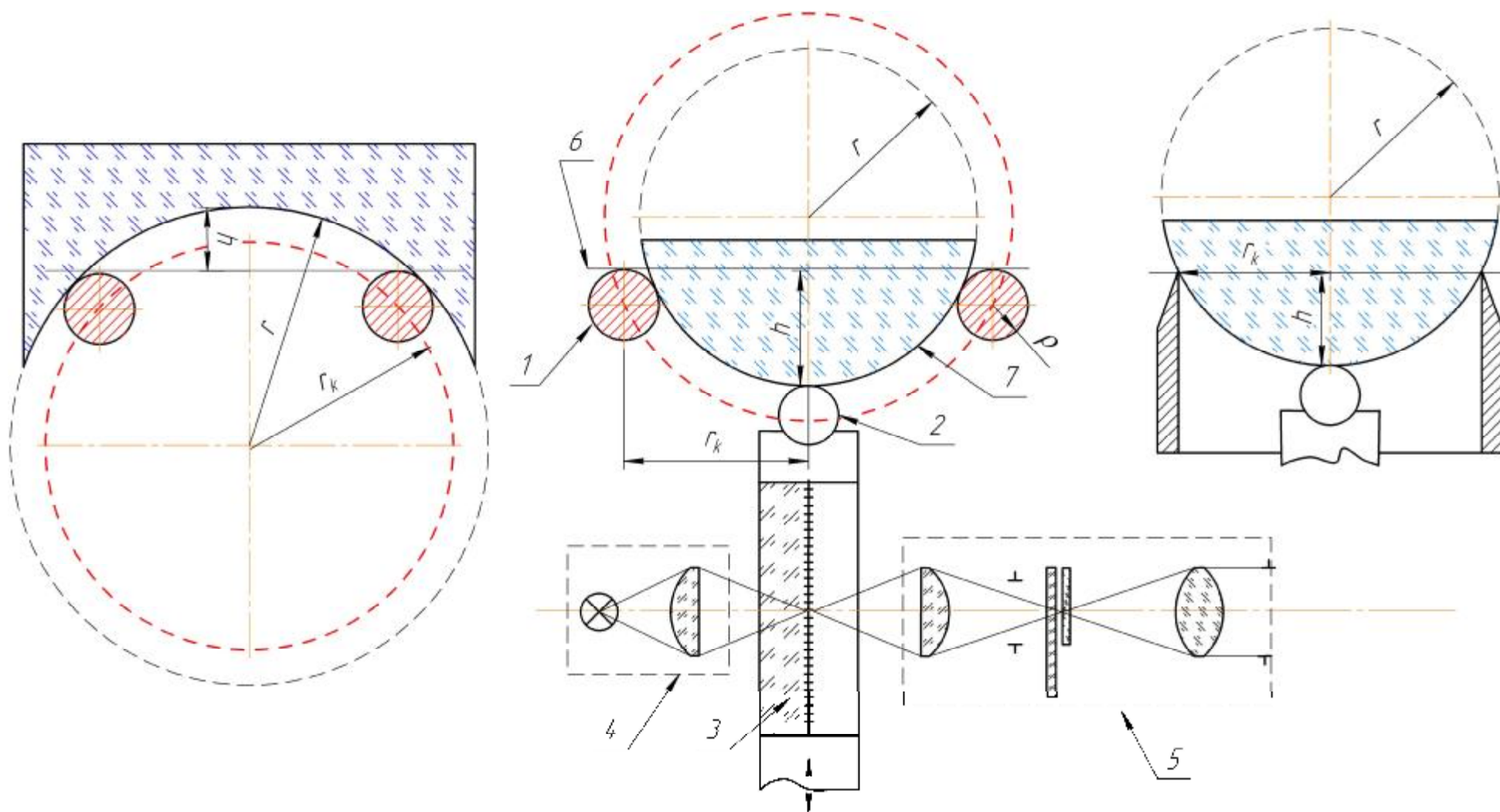


Рисунок 2.1 – Схема вимірювання радіусів сферичних поверхонь контактним сферометром:
 1 – сталі кульки; 2 – вимірювальний стержень; 3 – шкала; 4 – система освітлення; 5 – відліковий мікроскоп;
 6 – скляна пластина; 7 – вимірювана поверхня

За способом отримання результату даний метод є опосередкований і заснований на розрахунку радіусу кривизни r сферичної поверхні 7 яка встановлена на опорне кільце з відомим радіусом r_k за виміряною стрілкою прогину h .

При використанні сферометра з ножовою кромкою (для контролю шліфованих поверхонь) радіус кривизни сферичної поверхні визначають за формулою:

$$r = \frac{r_k^2 + h^2}{2 \cdot h} \quad (2.1)$$

При вимірюванні радіусів кривизни полірованих поверхонь використовують кільця, опорами в яких є три кульки, що встановлені під кутом 120° . Тоді формула для визначення радіусу кривизни сферичної поверхні:

$$r = \frac{r_k^2 + h^2}{2 \cdot h} \mathbf{m}r \quad (2.2)$$

де $-r$ для ввігнутої сферичної поверхні;

$+r$ для випуклої сферичної поверхні

В формулі (2.2) величини r_k , r заздалегідь відомі з високою точністю так як вони є константами приладу (див. табл..2.1). Середньоквадратична похибка S_r вимірювання радіусу r кривизни поверхні залежить від середньоквадратичних похибок атестації S_{r_k} , S_r та виміряної величини S_h і визначається:

$$S_r = \sqrt{\left(\frac{r_k}{h} \cdot S_{r_k}\right)^2 + \left(\frac{h^2 + r_k^2}{2 \cdot h^2} \cdot S_h\right)^2} + S_r^2 \quad (2.3)$$

де S_{r_k} , S_r - середньоквадратична похибка атестації табл..2.1;

S_h - середньоквадратична похибка виміряної величини.

3.2 Устрій сферометра ИЗС-7

Сферометр ИЗС-7 призначений для вимірювання радіусів кривизни пари основного пробного скла ОПС (ГОСТ 2786) з радіусами від 37,5 до 750 мм. В цьому випадку радіус кривизни розраховується за формулою:

$$r = \frac{r_k^2}{4} \cdot \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}\right) + \frac{h_1 + h_2}{4} \quad (2.4)$$

де h_1 - стрілка прогину випуклої поверхні ОПС;

h_2 - стрілка прогину ввігнутої поверхні ОПС.

На приладі можна також вимірювати радіуси окремих випуклих та ввігнутих сферичних поверхонь в діапазоні від 10 до 1000 мм. В цьому випадку використовують формулу (2.2).

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики сферометра ИЗС-7

Границя вимірювання радіусів пари пробного скла	37.5 – 750 мм
Гранична похибка результату вимірювання радіусів пари пробного скла	± 0,02 %
Границя вимірювання радіусів окремих сферичних поверхонь	10 – 1000 мм
Гранична похибка результату вимірювання радіусів окремих сферичних поверхонь: від 10 до 37,5 мм від 37,5 до 1000 мм	± 0,07 % ± 0,04 %
Збільшення мікроскопа	62 ^x
Довжина міліметрової шкали	30 мм
Ціна поділки: • спірального окулярного мікрометра • міліметрової шкали	0.001 мм 1 мм
Похибка атестації	$S_r = \pm 0.0004$ мм; $S_r = \pm 0.0002$ мм

Всередині литого металевго корпусу приладу 1 рис.2.2 знаходиться вимірювальний стержень 2 зі скляною міліметровою шкалою довжиною 30 мм. Під дією противаги стержень піднімається до гори та своїм сферичним наконечником 3 дотикається із поверхнею контрольованої деталі 4. Для відпускання вимірювального стержня до низу слугує аретир 6. Відлік за шкалою виконується за допомогою мікроскопа із спіральним окуляр-мікрометром 7 з ціною поділки 0,001 мм. Шкала освітлюється лампочкою з робочою напругою 3,5 В, яка розміщується в патроні 11 та вмикається в мережу через трансформатор. Сферометр оснащується набором із семи змінних кілець 5 з діаметрами 15, 21, 30, 42, 60, 85, 120 мм, опорами в яких є три кульки радіусом r табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Конструктивні параметри опорних кілець сферометра

№ кільця	Радіус кільця, мм	Радіус кульки, мм
650017-1	60,0143	5,410
650017-2	42,5218	5,138
650017-3	30,0166	4,364
650017-4	21,2289	3,160
650017-5	15,0410	2,364
650017-6	10,6456	1,271
650017-7	7,4699	1,250

У випадку, якщо вага вимірюваного виробу недостатня для переборювання вимірювального зусилля, використовують упор 10, який притискає оптичну деталь до опорного кільця сферометра.

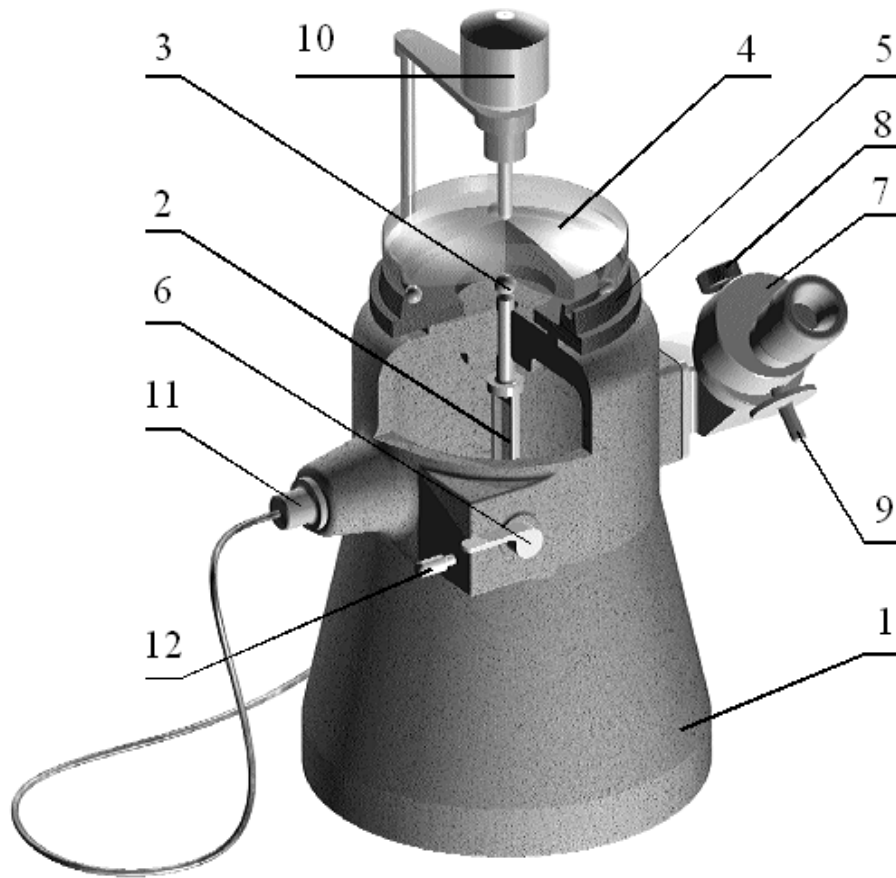


Рисунок 2.2 – Устрій кільцевого сферометра ИЗС-7

Принципова оптична схема сферометра ИЗС-7 представлена на рис. 2.3.

Світло від лампи 1 проходить зелений світлофільтра 2, конденсор 3 і рівномірним пучком 4 освітлює основну шкалу 5 з ціною поділки 1 мм. Зображення осьової ділянки шкали проектується лінзами 6 та 7 об'єктива мікроскопа через призми 9 та 10 в площину, що розташована між нерухомою шкалою 12 (з ціною поділки 0,1 мм) та обертаючою відліковою шкалою 11 із спіральним ноніусом (з ціною поділки 0,001 мм). Відлік знімається через лінзи окуляра 13 та 14. Шкала 5, відповідно до принципу Аббе, розташована на одній лінії із вимірювальним стержнем 17 і жорстко пов'язана з ним. Стержень переміщується поступально під дією контрольованої деталі 15, що встановлюється на кульки 16 опорного кільця. Таким чином, переміщення основної шкали 5 дорівнює переміщенню вимірювального стержня 17. Апертурна діафрагма 8, встановлена поблизу задньої фокальної площини мікрооб'єктива, призначена для формування телецентричного ходу головного променя в просторі предметів.

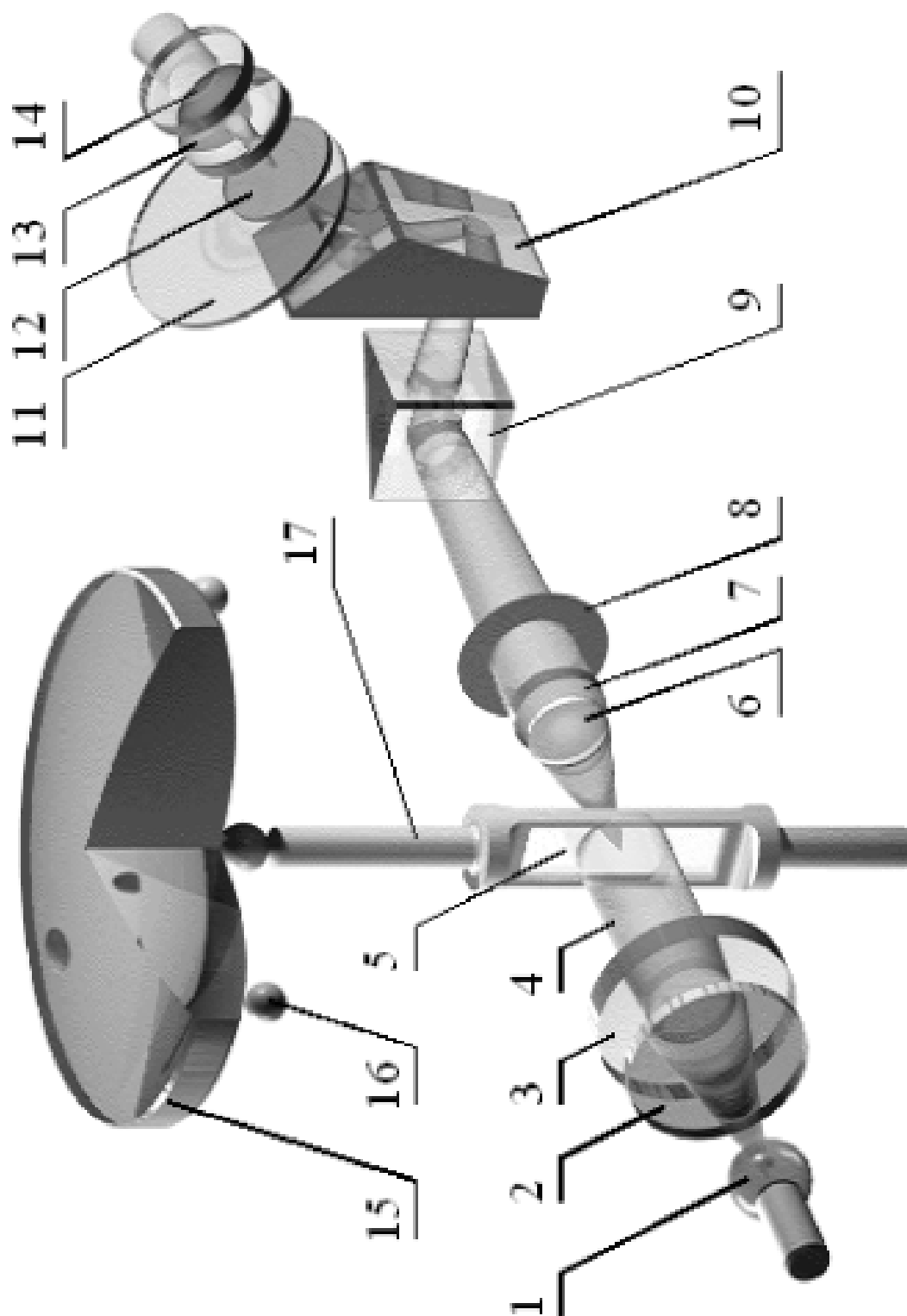


Рисунок 2.3 – Принципова оптична схема сферометра ИЗС-7

Відлік за допомогою мікроскопа зі спіральним окуляр-мікрометром

Відліки виконуються за міліметровою шкалою за допомогою вимірювального мікроскопа із спіральним окуляр-мікрометром. Для встановлення початкового відліку слугує гвинт 8 рис.2.2. В полі зору відлікового мікроскопа рис.2.4 одночасно видно: три крупних штриха міліметрової шкали (позначені великими цифрами 13, 14, 15), нерухома вертикальна шкала десятих часток міліметра з поділками від 0 до 10 та кругова шкала для відліку сотих та тисячних часток міліметра, а також подвійні витки спіралі.

Щоб виконати відлік, необхідно попередньо маховиком 9 відвести подвійний виток спіралі так, щоб міліметровий штрих в зоні подвійних витків виявився точно по середині між лініями витків. На рис.2.4 показано приклад відліку, рівний 14,4166.

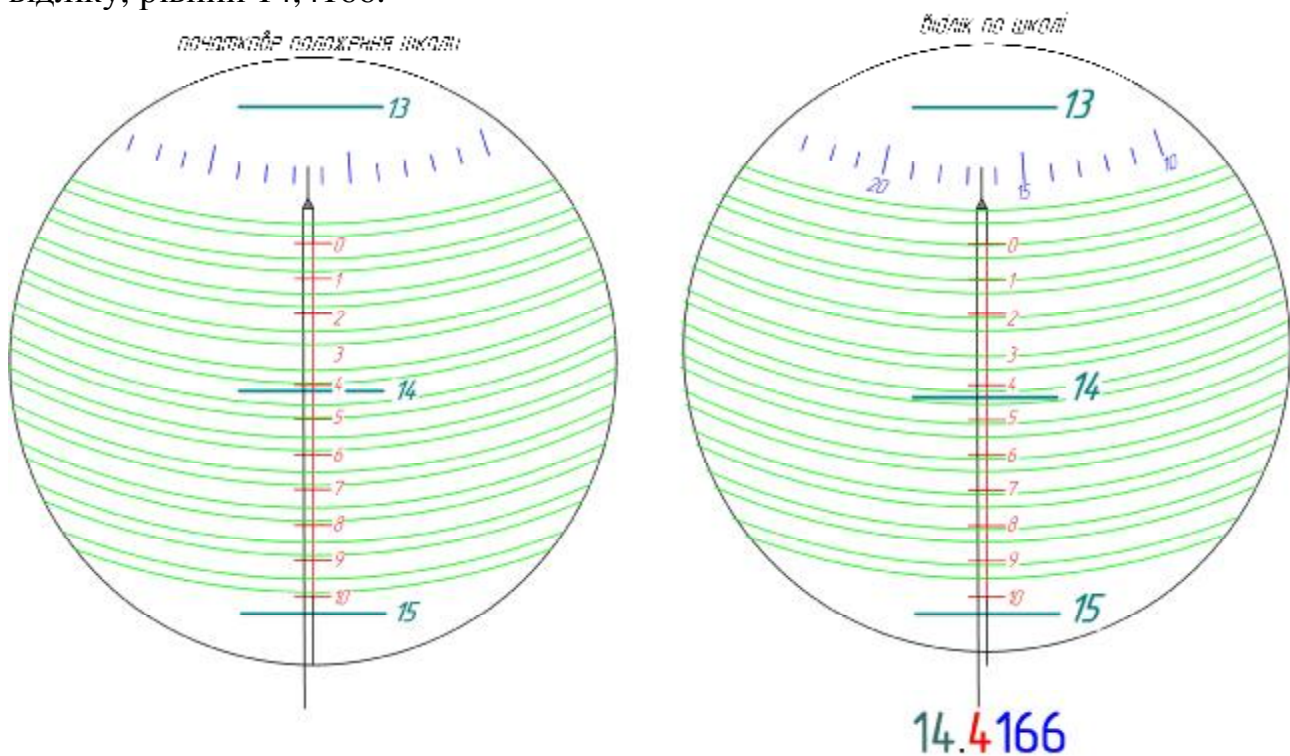


Рисунок 2.4 – Поле зору спірального окуляр-мікрометра

3.3 Автоколімаційний метод

Автоколімаційний метод заснований на дзеркальному відбитті променів, що йдуть від центра кривизни полірованої поверхні.

Для вимірювання малих радіусів кривизни (від 0,5 до 100 мм) ввігнутих та випуклих сферичних поверхонь використовують автоколімаційні мікроскопи.

Вимірювання зводиться до визначення різниці відліків для двох положень окуляра зорової труби, сфокусованої на нескінченно віддалений предмет і на автоколімаційне зображення перехрестя окуляра, яке отримують від поверхні контрольованої деталі, що розміщується перед об'єктивом труби.

Малий радіус кривизни випуклої та ввігнутої сферичної поверхні

вимірюють за допомогою автоколімаційних мікроскопів, оснащених об'єктивами з числовою апертурою не більше 0,2. Для випуклих поверхонь робоча відстань об'єктивів мікроскопів повинна бути більшою за вимірюваний радіус кривизни.

Мікроскопи повинні мати відліковий пристрій з ціною поділки 0,01-0,001 мм для визначення величини переміщення контрольованої деталі або мікроскопа. На початку роботи деталь центрують, для цього, спостерігаючи в мікроскоп, обертають мікрометричний гвинт і переміщують лінзу вручну в положення, при якому автоколімаційне зображення перехрестя виявиться нерухомим. Для того щоб чітко бачити поверхню деталі її необхідно присипати порошком крейди або пудрою. Процес вимірювання складається із двох фокусувань (наведень) на автоколімаційне зображення перехрестя та на поверхню деталі. При наведенні на випуклу поверхню мікрометричний гвинт з лінзою віддаляється від об'єктива мікроскопа рис.2.5 а; при наведенні на ввігнуту поверхню – наближується рис.2.5 б до суміщення з предметною площиною мікроскопа. Різниця відліків двох положень лінзи складає невідомий радіус кривизни R . Точність вимірювання R залежить від точності відлікових пристроїв та чутливості повздовжнього наведення. Вона знаходиться в межах 0,1-0,01 % для R від 1 до 50 мм та 0,01-0,001 % для R від 50 до 5000 мм.

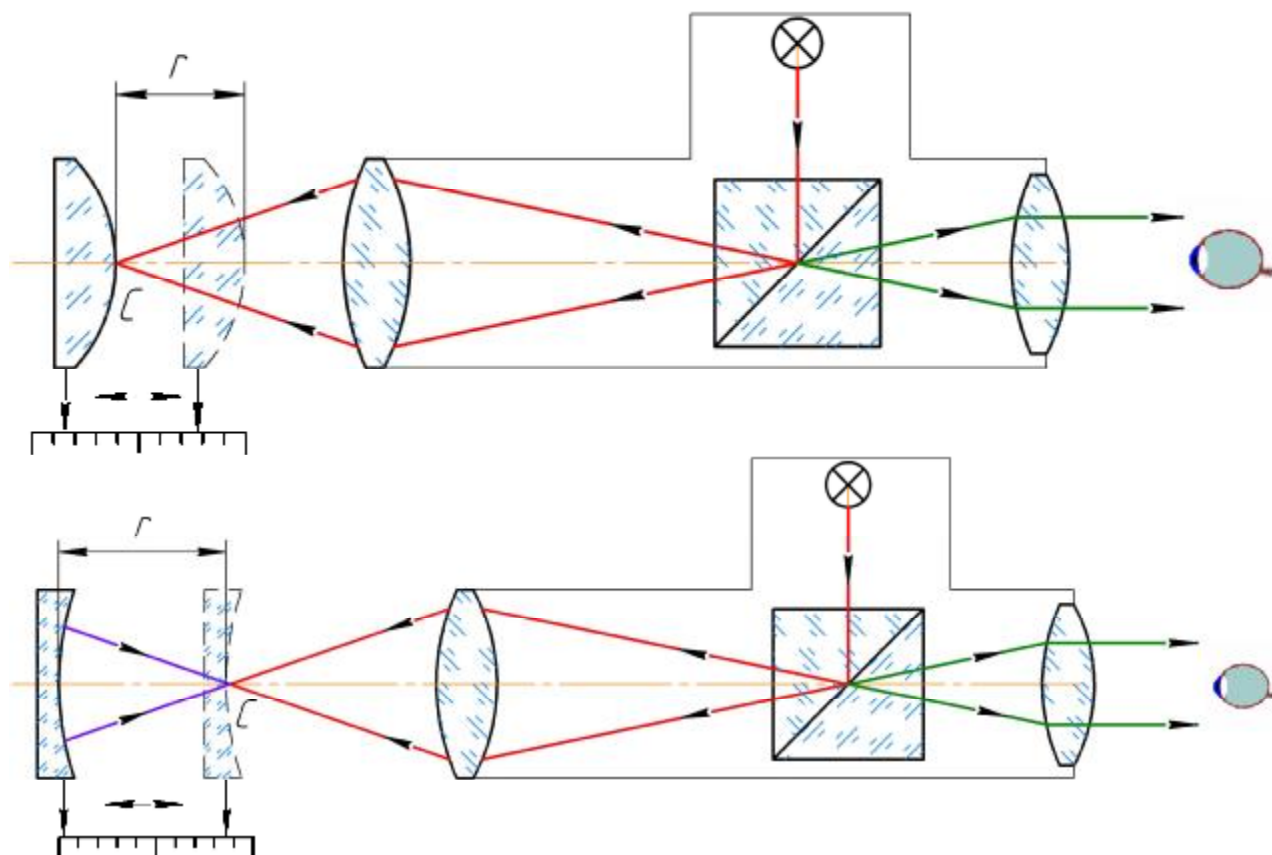


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання за допомогою автоколімаційного мікроскопа радіусів сферичних поверхонь: а) випуклої; б) ввігнутої

Похибку вимірювання радіусу внаслідок неточності шкали визначають за формулою [1, 2]:

$$\Delta r_1 = 1 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot r \quad (2.5)$$

де r – вимірюваний радіус кривизни, мм

Точність фокусування мікроскопа на поверхню деталі та в центр кривизни залежить від чутливості повздовжнього наведення, тобто від діючої числової апертури робочого пучка променів [1, 2]:

$$\Delta r_2 = 1.6 \cdot \left(\frac{r}{D} \right)^2 \quad (2.6)$$

де D – діаметр вимірюваної деталі.

Тоді сумарна похибка вимірювання радіусу кривизни визначається за формулою:

$$\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2 \quad (2.7)$$

Для вимірювання великих радіусів кривизни використовують автоколімаційну зорову трубу рис.2.6. окуляр якої має шкалу для відліку повздовжніх переміщень.

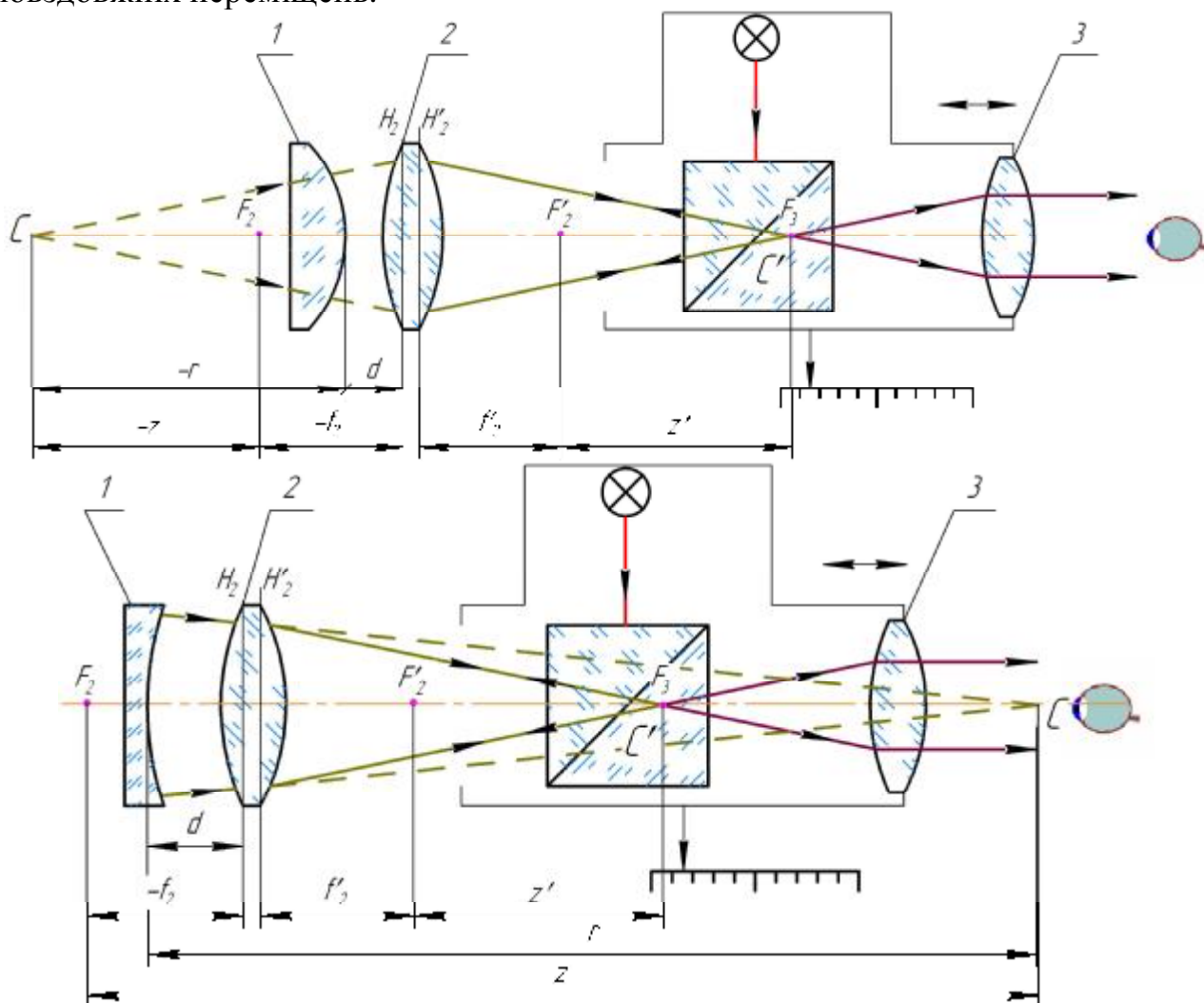


Рисунок 2.6 – Схема вимірювання за допомогою автоколімаційної зорової труби радіусів сферичних поверхонь: а) випуклої; б) ввігнутої

Перед початком вимірювання зорову трубу вивіряють на нескінченність та за шкалою окуляра знімають відлік a_1 , який відповідає суміщенню заднього фокуса F_2' об'єктива 2 з переднім фокусом F_3 окуляра. Потім перед зоровою трубою встановлюють вимірювану деталь 1 і переміщенням окуляра досягають різкого зображення авто колімаційного зображення перехрестя; за шкалою окуляра знімають відлік a_2 . Різниця відліків $a_1 - a_2 = z'$. Зорова труба зі зміщеним окуляром перетворюється в мікроскоп з малим збільшенням, сфокусованим на центр кривизни C вимірюваної поверхні. Формула, що пов'язує вимірюваний радіус та фокусну відстань для випуклої поверхні має вигляд [1, 2]:

$$-r = \frac{f'^2}{z'} + f' - d \quad (2.8)$$

Для ввігнутої поверхні [1, 2]:

$$r = -\frac{f'^2}{z'} - f' + d \quad (2.9)$$

Для вимірювання даним методом необхідно знати фокусну відстань об'єктива f' зорової труби та відстань d між вершиною вимірюваної поверхні та передньою головною площиною об'єктива.

Похибка внаслідок неточності відліку визначається [1, 2]:

$$\Delta r = \left(\frac{f'}{z'} \right)^2 \cdot \Delta z' \quad (2.10)$$

де $\Delta z'$ - похибка відліку за шкалою переміщення окуляра = 0,01 мм.

4. Виконання роботи

Завдання 1. Вимірювання радіусу кривизни пробного скла

Вимірювання радіусу пробного скла на сферометрі виконують наступним чином:

- із набору кілець вибирають одне, діаметр якого на 5-10 мм менше за діаметр контрольованої лінзи та встановлюють його на верхню поліровану площадку корпусу;
- визначення приблизного радіусу кривизни поверхні:
 - вивільняють аретир і дають вимірювальному стержню можливість прийти в контакт з поверхнею пробного скла, і знімають відлік a_1 за допомогою окуляра-мікрометра;
 - на місце деталі встановлюють плоске скло дають вимірювальному стержню можливість прийти в контакт з поверхнею, знімають відлік a_2 ;
 - визначають стрілку прогину приладу $h = a_1 - a_2$
 - розраховують приблизно радіус кривизни поверхні за формулою: $r_{\approx} = \frac{r_k^2 + h^2}{2 \cdot h}$ [2];
 - результати вимірювання та розрахунку заносять до таблиці 2.3.
- визначення радіусу кривизни пробного скла:
 - встановити випукле пробне скло дати вимірювальному стержню можливість прийти в контакт з поверхнею, зняти відлік a_3 ;
 - встановити ввігнуте пробне скло дати вимірювальному стержню можливість прийти в контакт з поверхнею, зняти відлік a_4 ;
 - визначити стрілку прогину приладу $2h = a_3 - a_4$;
 - розрахувати радіус кола при перетині ввігнутої та випуклої поверхні за формулою [2]: $r_0 = r_k \cdot \left[1 + \frac{r^2}{2 \cdot (r_{\approx}^2 - r_k^2)} \right]$;
 - розрахувати радіус пробного скла за формулою [2]: $r_n = \frac{r_0^2 + h^2}{2 \cdot h}$;
 - результати вимірювання та розрахунку заносять до таблиці 2.3.
- визначення похибки вимірювання радіусу
 - розрахувати абсолютну похибку вимірювання радіусу кривизни поверхні за формулою [2]:

$$\Delta r_n = \frac{r_0}{h} \cdot \Delta r_0 + 0.5 \cdot \left(1 - \frac{r_0^2}{h^2} \right) \cdot \Delta h \quad (\Delta h \leq 1 \text{ мкм}; \Delta r_0 \leq 2 \text{ мкм});$$

- розрахувати відносну похибку вимірювання радіусу кривизни за формулою
$$d_{r_n} = \frac{C_1 \cdot \Delta r_0 + C_2 \cdot \Delta h}{C_1 \cdot r_0 + C_2 \cdot h}; \quad C_1 = \frac{r_0}{h};$$
- $$C_2 = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{r_0^2}{h^2}\right)$$
- результати розрахунку заносять до таблиці 2.3.

Обробка результатів опосередкованих вимірювань

Задача визначення похибки опосередкованого вимірювання складається із трьох етапів:

- підсумовування частинних не виключених систематичних похибок аргументів;
- підсумовування частинних випадкових похибок аргументів;
- додавання систематичної та випадкової похибки.

Довірча границя не виключеної систематичної похибки опосередкованого вимірювання при умові однакової довірчої ймовірності частинних похибок та їх рівномірного розподілу всередині заданих границь визначається за формулою [1, 2]:

$$\Delta r_{\text{пробне скло.гр.}} = k \cdot \sqrt{\left(\frac{r_k}{h} \cdot \Delta r_k\right)^2 + \left(\frac{h^2 + r_k^2}{2 \cdot h^2} \cdot \Delta h\right)^2} + \Delta r$$

де $\Delta h = 0.001 \text{ мм}$ - абсолютна похибка не виключеної систематичної похибки вимірювання прогину стрілки;

Δr_k - абсолютна похибка не виключеної систематичної похибки вимірювання радіусу кільця $\Delta r_k = \frac{d \cdot r_k}{100\%}$;

$\Delta r = s_r \cdot \sqrt{3}$ - абсолютна похибка невиключеної систематичної похибки вимірювання радіусу кульки;

k – коефіцієнт систематичної складової

Довірча ймовірність	Кількість складових похибки					середнє
	2	3	4	5		
0,9	0,97	0,95	0,95	0,95		0,95
0,95	1,10	1,12	1,12	1,12		1,11
0,99	1,27	1,37	1,41	1,42		1,4

Оцінка СКВ випадкової похибки опосередкованого вимірювання визначається за формулою [1, 2]:

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \cdot S_i^2} \Rightarrow$$

$$S_{\bar{r}} = \sqrt{\left(\frac{r_k}{h} \cdot S_{r_k} \right)^2 + \left(\frac{h^2 + r_k^2}{2 \cdot h^2} \cdot \frac{S_h}{\sqrt{N}} \right)^2 + S_r^2}$$

де S_i - СКВ або оцінка СКВ випадкової похибки результату вимірювання i -го аргументу

При нормальному розподілі похибок опосередкованого вимірювання довірча границя випадкової похибки вимірювання (невизначеність результату) при заданій довірчій ймовірності визначається за формулою [1, 2]:

$$\Delta y_{\text{дов}} = \pm K(P_{\text{дов}}, n) \cdot S_{\bar{y}} \Rightarrow$$

$$\Delta r_{\text{пробне скло.дов}} = \pm K(P_{\text{дов}}, k_{\text{еф}}) \cdot \sqrt{\left(\frac{r_k}{h} \cdot S_{r_k} \right)^2 + \left(\frac{h^2 + r_k^2}{2 \cdot h^2} \cdot \frac{S_h}{\sqrt{N}} \right)^2 + S_r^2}$$

де $K(P_{\text{дов}}, k_{\text{еф}})$ - квантиль розподілу при довірчій ймовірності $P_{\text{дов}}$ з ефективним числом степенів свободи $k_{\text{еф}}$, що визначається при малих об'ємах

вибірки за формулою: $k_{\text{еф}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \cdot S_i^2 \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{N+1} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^4 \cdot S_i^4 \right)} - 2;$

$$S_h - \text{середньоквадратична похибка вимірної величини } S_h \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}{N-1}}.$$

Використовуємо квазістатичний підхід до підсумовування систематичної та випадкової похибок. Це має сенс, якщо систематична похибка містить \square е скориговані залишки змінних складових. Найчастіше довірчий інтервал сумарної похибки знаходять за виразом [3]:

$$\Delta_{\Sigma \text{ дов.}} = \pm K(P_{\text{дов.}}, n) \cdot \left[\Delta r_{\text{пробне скло.гр.}} + \Delta r_{\text{пробне скло.дов.}} \right] \quad (2.11)$$

де $K(P_{\text{дов.}}, n)$ - коефіцієнт, що залежить від відношення границі систематичної похибки до стандартного відхилення випадкової похибки

$$n = \frac{\Delta r_{\text{пробне скло.гр.}}}{S_{\bar{r}}}.$$

Якщо виконується умова $0,8 \leq n \leq 8$, то можна використовувати значення коефіцієнту $K(P_{\text{дов}}, n)$

<i>n</i>	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	7	8
$K(0,95, n)$	0,81	0,77	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,8	0,81
$K(0,95, n)$	0,87	0,85	0,82	0,8	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Якщо ж $0,8 < n$, то систематичною похибкою нехтують і за границю сумарної приймають границю випадкової похибки, а при $n > 8$, нехтують випадковою складовою похибки і залишають лише систематичну.

Результат вимірювання записується у формі [3]:

$$y = (\bar{y} \pm \Delta_{\Sigma \text{ дов}}), P_{\text{дов}} = \mathbf{K}, n = \mathbf{K}$$

$$r_n = \bar{r}_n \pm \Delta_{\Sigma \text{ дов}}, P_{\text{дов}} = \mathbf{K}, n = \mathbf{K}$$

Таблиця 2.3 – Результати вимірювання та розрахунків пробного скла

		Номер кільця № $r_k = \text{мм}; R = \text{мм}$									
N	a_1 випукле скло	a_2 плоска пластина	$h = a_1 - a_2$	r_{\approx}	a_3 випукле скло	a_4 ввігнуте скло	$2h = a_3 - a_4$	r_0	r_n	Розрахунок похибки	
										Δr_n	d
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
Середнє значення			\bar{h}	\bar{r}_{\approx}			\bar{h}	\bar{r}_0	\bar{r}_n	$\bar{\Delta r}_n$	\bar{d}

Результат вимірювання представлений у формі

$$r_n = \bar{r}_n \pm \Delta_{\Sigma \text{ дов}}, P_{\text{дов}} = \mathbf{K}, n = \mathbf{K}$$

Завдання 2 Вимірювання радіусу кривизни лінзи

Вимірювання на сферометрі виконують наступним чином:

- із набору кілець вибирають одне, діаметр якого на 5-10 мм менше за діаметр контрольованої лінзи та встановлюють його на верхню поліровану площадку корпусу;
- поверхні контактних кульок, контрольованої деталі та плоскої скляної пластинки ретельно очищують від пилу;
- на кульки кільця послідовно кладуть спочатку плоску пластинку, а потім деталь контрольованою поверхнею до низу:

- вивільняють аретир і дають вимірювальному стержню можливість прийти в контакт з поверхнею плоского скла, і знімають відлік a_n за допомогою окуляра-мікрометра (вимірювання повторюють 10 разів);

- на місце деталі встановлюють лінзу (контрольованою поверхнею до низу) дають вимірювальному стержню можливість прийти в контакт з поверхнею, знімають відлік a_n (вимірювання повторюють 10 разів);

- визначають стрілку прогину приладу. Різниця відліків a_n (для пластини) та a_n (для лінзи) дає значення стрілки прогину $h = a_n - a_n$

- розраховують радіус кривизни поверхні за формулою [2]

$$r = \frac{r_k^2 + h^2}{2 \cdot h} \text{ мр}$$

- визначення похибки вимірювання радіусу:

- розрахувати абсолютну похибку вимірювання радіусу кривизни поверхні за формулою [2]:

$$\Delta r_n = \frac{r_k}{h} \cdot \Delta r_k + 0.5 \cdot \left(1 - \frac{r_k^2}{h^2} \right) \cdot \Delta h + \Delta r$$

($\Delta h \leq 1 \text{ мкм}$; $\Delta r_k \leq 2 \text{ мкм}$; $\Delta r \leq 2 \text{ мкм}$);

- розрахувати відносну похибку вимірювання радіусу кривизни за формулою [2]:

$$d_{r_n} = \frac{C_1 \cdot \Delta r_k + C_2 \cdot \Delta h}{C_1 \cdot r_k + C_2 \cdot h}; \quad C_1 = \frac{r_k}{h}; \quad C_2 = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{r_k^2}{h^2} \right)$$

- результати розрахунку заносять до таблиці 2.4.

- виконати обробку результатів опосередкованого вимірювання за методикою викладеною вище. Представити результат вимірювання.

Таблиця 2.4 – Результати вимірювання та розрахунків лінзи

лінза		Номер кільця №			$r_k =$	$мм$; $r =$	$мм$
N	a_n плоске скло	a_l лінза	$h = a_n - a_l$	$r = \frac{r_k^2 + h^2}{2 \cdot h} \text{ мр}$	Розрахунок похибки		
					Δr_n	d	
1							
2							
...							
10							
Середнє значення			\bar{h}	\bar{r}	$\bar{\Delta r_n}$	\bar{d}	

Результат вимірювання представлений у формі

$$r_n = \bar{r} \pm \Delta_{\Sigma_{\text{дов}}}, P_{\text{дов}} = \mathbf{K}, n = \mathbf{K}$$

5. Контрольні питання

1. Пояснити сутність вимірювання радіусів сферичних поверхонь контактним сферометром.
2. Конструкція кільцевого сферометра ИЗС-7
3. Оптична принципова схема кільцевого сферометра ИЗС-7.
4. Виконання відліку за допомогою спірального окуляр-мікрометра
5. Пояснити метод вимірювання малих радіусів кривизни ввігнутих та випуклих сферичних поверхонь за допомогою автоколімаційного мікроскопа.
6. Пояснити метод вимірювання великих радіусів кривизни ввігнутих та випуклих сферичних поверхонь за допомогою авто колімаційної зорової труби..
7. Пояснити алгоритм обробки дослідних даних опосередкованих вимірювань.

6. Література

1. Афанасьев В.А. Оптические измерения: Учебник для вузов – М.: Высш.школа 1981. – 229 с.
2. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения: Учебник для вузов по специальности «Оптико-электронные приборы» и «Технология оптического приборостроения» /Под общ. Ред. Д.Т. Пуряева. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
3. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С.Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О.Яцук, В.М.Ванько, Т.Г.Бойко; За ред.проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво „Бескид біт”, 2003. – 544 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1.3

ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ І ПІРАМІДАЛЬНОСТІ ПРИЗМ

В вимірювальних приладах широко застосовуються відбиваючі та заломлюючі призми, оптичні клинці та багатогранники. Всі ці деталі утворені плоскими заломлюючими та відбиваючими поверхнями, які розташовані під різними кутами одні до одної. Ребра між робочим гранями призми, що розвертаються у плоско паралельні пластинки, повинні бути паралельні між собою, їх непаралельність призводить до пірамідальності призми. При контролі призми та клинців вимірюють не тільки кути між їх гранями, але і кути відхилення променів, що пройшли крізь ці деталі.

1. Мета роботи

1. Ознайомитися з устроєм та принциповою оптичною схемою гоніометра Г5М.
2. Виміряти кути та пірамідальність призми.

2. Підготовка до роботи

1. Основні методи вимірювання кутів та пірамідальності призми.
2. Устрій гоніометра. Основні складові частини.
3. Принципова схема гоніометра.

3. Теоретичні відомості

Механічний метод вимірювання

Для вимірювання кутів на стадії шліфування призми в основному використовують контактні інструменти: регульований кутник, механічний та оптичний кутомір, косиномір.

Регульований кутник та кутоміри мають дві металеві лінійки, одна із яких нерухома і виконує роль основи, а інша обертається. Кутник не має шкали, тому необхідний кут між лінійками встановлюють за оптичними кутниками, які зазвичай мають кути 30, 45, 60 та 90°, виконані з допуском $(10-30)''$. Кут деталі порівнюється із встановленим кутом між лінійками кутника. Похибка при оцінюванні відхилення кута залежить від довжини грані деталі і складає $(1-5)'$.

Кутоміри мають шкалу, за якою підліковують оберт рухомої лінійки. В механічному кутомірі існує нерухома шкала і ноніус, які з'єднані з рухомою лінійкою. Оптичний кутомір УО-2 має лімб та лупу, крізь яку знімають відлік оберту лінійки. Для вимірювання кута деталь однією із граней встановлюють на нерухому лінійку, а рухому лінійку суміщають з іншою гранню. Кутоміри забезпечують вимірювання з точністю $2,5'$ в діапазоні кутів $(0-180)^\circ$.

Оптичні методи

Оптичний метод включає колімаційний, автоколімаційний та інтерференційний методи з візуальною або фотоелектричною реєстрацією. Непрошченність граней призми та низька чистота їх обробки суттєво зменшує надійність вимірювання.

Колімаційний метод вимірювання кутів призми виконується на гоніометрі за схемами рис.3.1.

За схемою рис.3.1 а призму 1 базують на нерухому столику 2 гоніометра так, щоб ребро вимірюваного кута q розділяло приблизно пополам пучок променів, що виходить із коліматора 3. Потім зорову трубу 4 послідовно встановлюють так, щоб зображення A' щілини коліматора A , побудоване при відбиванні променів від робочих граней призми, сумістилося з вертикальним штрихом сітки зорової труби. Кут визначається за формулою:

$$q = \frac{a_1 - a_2}{2} \quad (3.1)$$

де a_1, a_2 - відліки по лімбу гоніометра.

За схемою рис.3.1 б зорову трубу 4 встановлюють так, щоб її оптична вісь складала мінімально можливий кут j з віссю коліматора 3, та закріплюють нерухомо. Призму 1 базують на обертальному столі 2 і обертом столика з призмою послідовно досягають суміщення зображення щілини коліматора з вертикальним штрихом сітки зорової труби. Кут визначається за формулою:

$$q = 180^\circ - (a_1 - a_2) \quad (3.2)$$

де a_1, a_2 - відліки по лімбу гоніометра.

Похибка кутових вимірювань визначається типом вибраного гоніометра і при використанні високоточного гоніометра ГС-1М не перевищує 1". Окрім того, не перпендикулярність робочих граней призми до площини стола також вносить похибку в вимірювання.

Пірамідальність призми вимірюють на гоніометрі рис.3.2 в, в коліматорі 3 якого замість щілини встановлений автоколімаційний окуляр. Зорова труба 4 оснащена окулярним мікрометром, вимірювальну шкалу якого розташовують вертикально. Призму 1 розміщують на обертальному столику 2 так, щоб одне із ребра призми було паралельним до вісі обертання стола. Коліматор та зорову трубу встановлюють під кутом 90° . Обертаючи стіл з призмою навколо вертикальної вісі, послідовно досягають таких положень робочих граней призми, при яких зображення A' центра перехрестя A , отримані при відбитті від цих граней, співпадуть з вертикальним штрихом сіткою окулярного мікрометра. Якщо призма пірамідальна, то ці зображення будуть знаходитися на різній висоті. Сумістивши горизонтальний штрих сітки окулярного мікрометра з центром кожного зображення, знімають відліки a_1, a_2 . Різниця

відліків $a_1 - a_2 = g$, де g - кут відхилення променів внаслідок пірамідальності. Кут пірамідальності p пов'язаний з кутом g залежністю:

$$p = \frac{g}{\sqrt{2}} \quad (3.3)$$

Похибка вимірювання пірамідальності залежить від похибки встановлення кута 90° та похибки відліку кута g за шкалою окулярного мікрометра. При використанні гоніометра ГС-1М та окулярного мікрометра, ціна поділки якого в кутовій мірі складає $1''$, похибка вимірювання пірамідальності не більше $1,2''$.

Зазвичай призми та оптичні клинці призначені для відхилення на заданий кут падаючого пучка променів. Тому для атестації цих деталей вимірюють кут відхилення w . Великі кути відхилення вимірюють на гоніометрі, а малі (до 1°) – за допомогою оптичної лавки.

Вимірювання і контроль кутів відхилення відбиваючих призм на гоніометрі виконують за схемою рис.3.2 а. Спочатку суміщають оптичну вісь зорової труби 4, яка оснащена автоколімаційним окуляром, з віссю коліматора 1 і за лімбом знімають відлік a_1 . Потім на стіл 2 гоніометра встановлюють вимірювальну призму 3 так, щоб її вихідна грань була перпендикулярна до вісі зорової труби (перевірка по автоколімації променів від цієї грані). Після цього обертають стіл і зорову трубу як одне ціле, розвертаючи їх до суміщення вертикального штриха перехрестя труби із зображенням щілини коліматора. За лімбом знімають відлік a_2 . Кут відхилення визначають за формулою:

$$w = a_1 - a_2 \quad (3.4)$$

Якщо призма має непарну кількість відбиваючих граней, то не перпендикулярність її до вихідної грані вісі зорової труби суттєво впливає на результат вимірювання. При парній кількості відбиваючих граней похибка встановлення призми мало впливає на результат вимірювання, оскільки кут відхилення дорівнює подвійному куту між відбиваючими гранями і не залежить від кута входження променів в призму. Похибка різниці відліків кутових положень залежить від марки гоніометра.

Кути відхилення клинців вимірюють на гоніометрі аналогічним способом. Клин рис.3.2 б встановлюють на стіл гоніометра так, щоб його вхідна грань МР була перпендикулярна до вісі коліматора. Оскільки кут відхилення клина залежить від довжини хвилі використаного світла, щілину коліматора освітлюють монохроматичним світлом.

Авторами Ю.М. Голубовським та Г.С. Смирновою розроблений високоточний спосіб вимірювання кутів відхилення оптичних клинців рис.3.3 з використанням гоніометра, двох плоских дзеркал 4, 6 встановлених паралельно один до одного, та додаткового коліматора 5 [2]. Спосіб заснований на багаторазовому проходженні променів крізь вимірювальний клин 3.

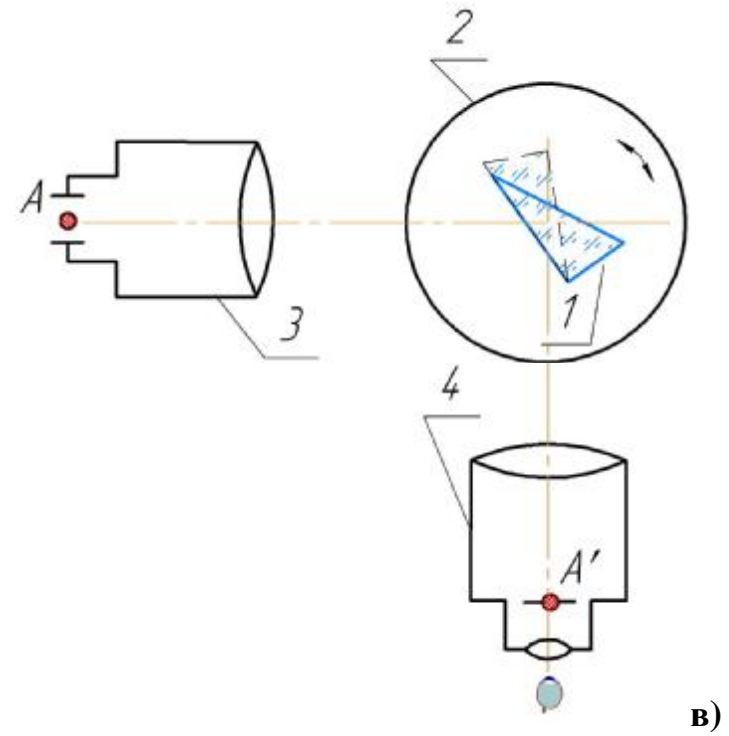
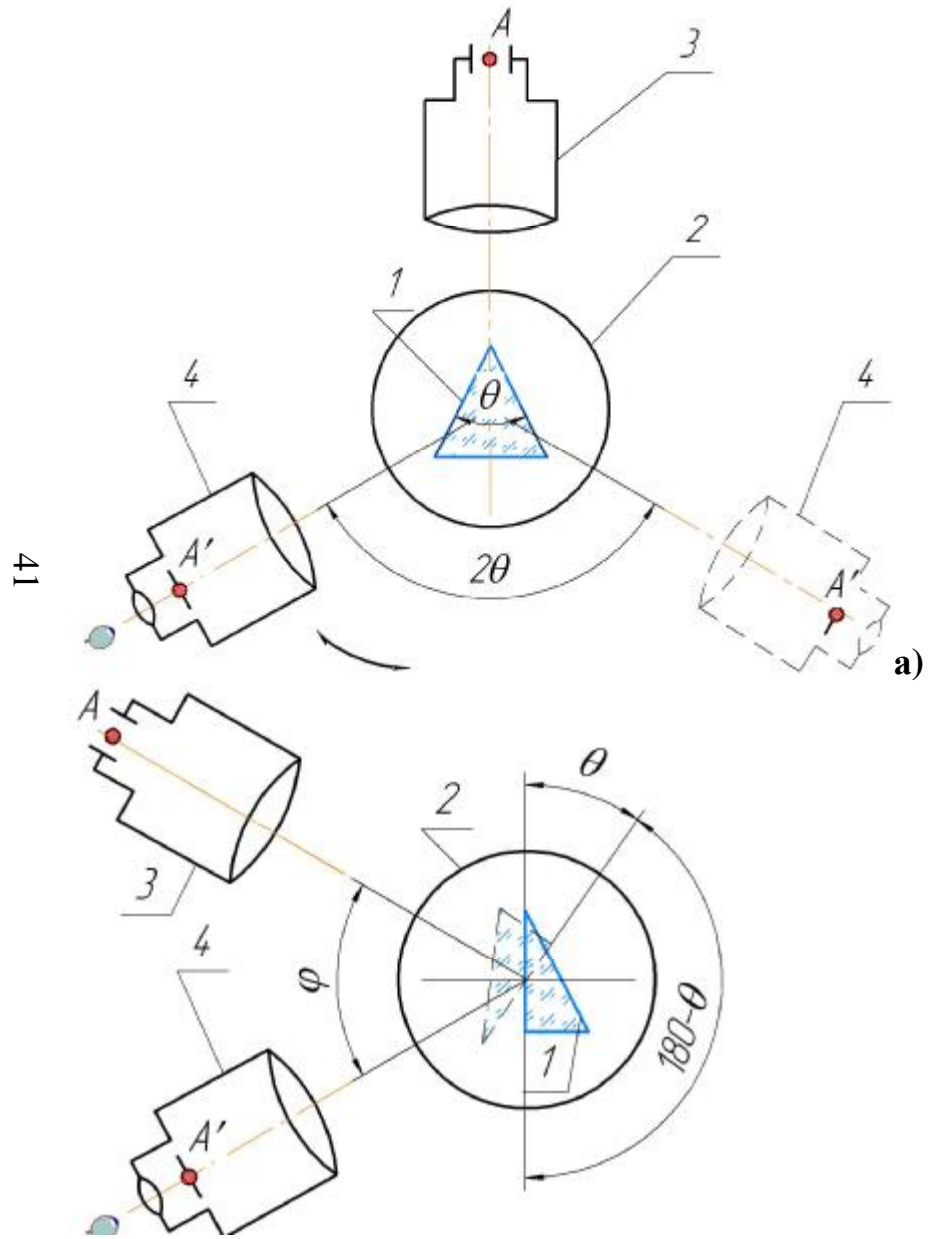


Рисунок 3.1 – Схеми вимірювання на гоніометрі:
 а та б – кута призми; в - пірамідальності

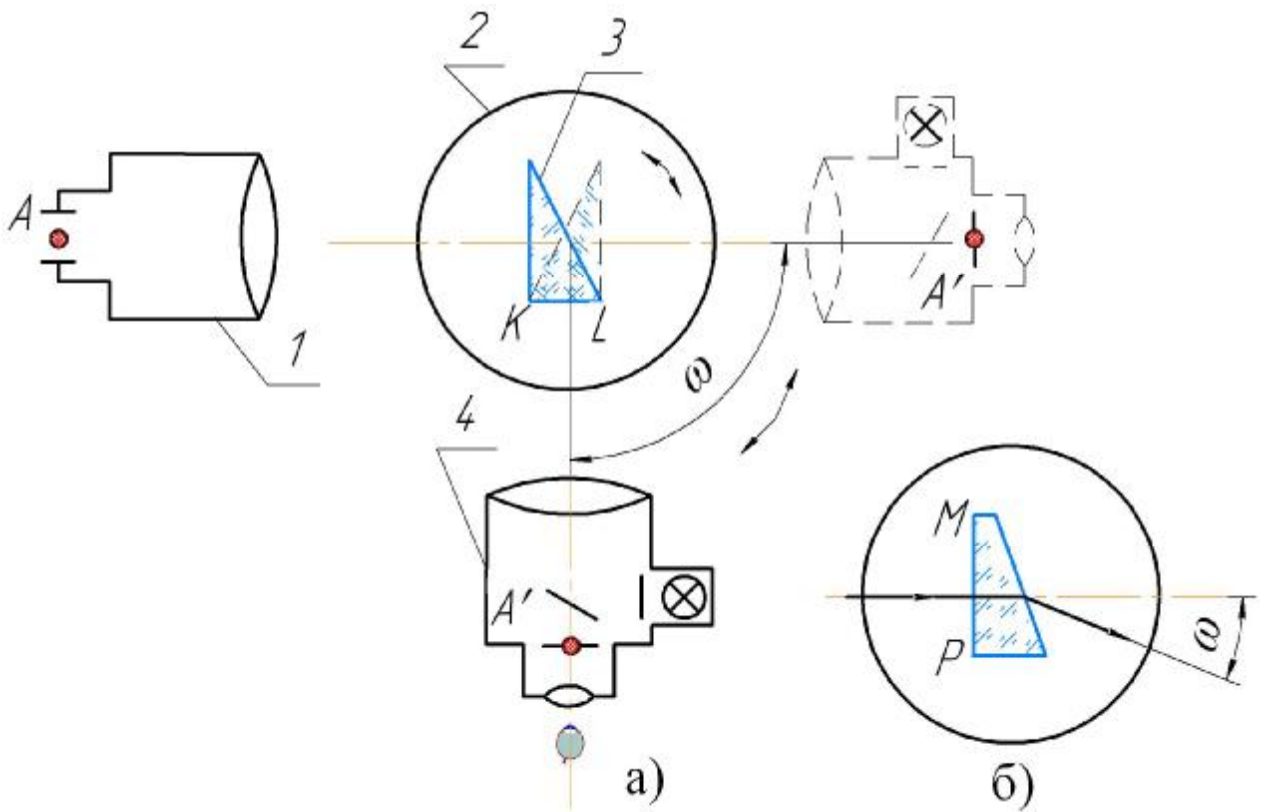


Рисунок 3.2 – Схеми вимірювання на гоніометрі кутів відхилення:
 а) призми; б) клина

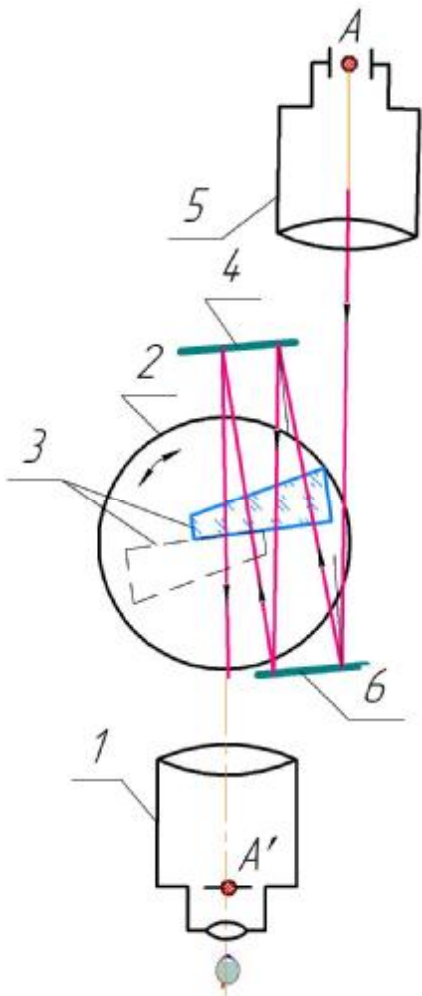


Рисунок 3.3 – Схема вимірювання на гоніометрі кута відхилення клина при багаторазовому проходженні крізь нього пучка світла

Коліматор, щілина якого освітлена монохроматичним світлом, встановлюють так, щоб його оптична вісь складала з нормаллю дзеркал кут $\epsilon \approx 1.5K2^\circ$. Клин розташовують на столі 2 гоніометра; одна із граней повинна бути приблизно паралельна поверхні дзеркала. Зорову трубу 1 встановлюють в положення, що відповідає співпаданню вертикального штриха сітки труби із зображенням щілини коліматора. При цьому за лімбаом знімають відлік a_1 . Потім стіл з клином розвертають на 180° і, знову сумістивши вертикальний штрих сітки із зображенням щілини, за лімбаом знімають відлік a_2 . Кут відхилення визначають за формулою:

$$w = \frac{a_1 - a_2}{2 \cdot m} \quad (3.5)$$

де m – кількість проходжень світлового пучка крізь клин.

При використанні одного і того ж гоніометра похибка вимірювання кута ω за схемою рис. 3.3 в декілька разів менша ніж похибка вимірювання кута за схемою рис. 3.2 б.

Колімаційний спосіб доцільно використовувати для вимірювання кутів відхилення клинців, заломлюючі кути яких $q < 10'$. В цьому випадку вдається досягти великої кількості проходження світлового пучка. Даний спосіб можна застосовувати і для контролю клиноподібності плоскопаралельних пластин.

Автоколімаційний метод вимірювання кутів призми та клинців реалізують за допомогою гоніометрів, оптичної лавки та автоколіматорів АК-У, МГА, ФА-1Ц.

Для рівнобедрених призм розроблений спосіб одночасного вимірювання похибок, кутів та пірамідальності. Спосіб реалізується за допомогою автоколімаційної зорової труби рис.3.4.

Похибку прямого кута і пірамідальність вимірюють за схемою рис. 3.4 а. Призму 1 встановлюють так, щоб її гіпотенузна грань була перпендикулярна до вісі зорової труби 2. Спостерігач бачить, як мінімум, три автоколімаційні відблиски. Один відблеск A'_1 утворений в результаті однократного відбиття променів від грані KM , і може бути встановлений в центрі поля. Яскраві відблиски A'_2 та A'_3 виникають внаслідок двохкратного відбиття від граней ML та KL .

При відсутності пірамідальності всі відблиски розташовуються на одній прямій. Зміщення відблисків A'_2 та A'_3 відносно A'_1 є мірою пірамідальності:

$$p = \frac{a}{2 \cdot n} \quad (3.6)$$

де a - відносне вертикальне зміщення відблисків, виражене в кутовій мірі;
 n - показник заломлення призми.

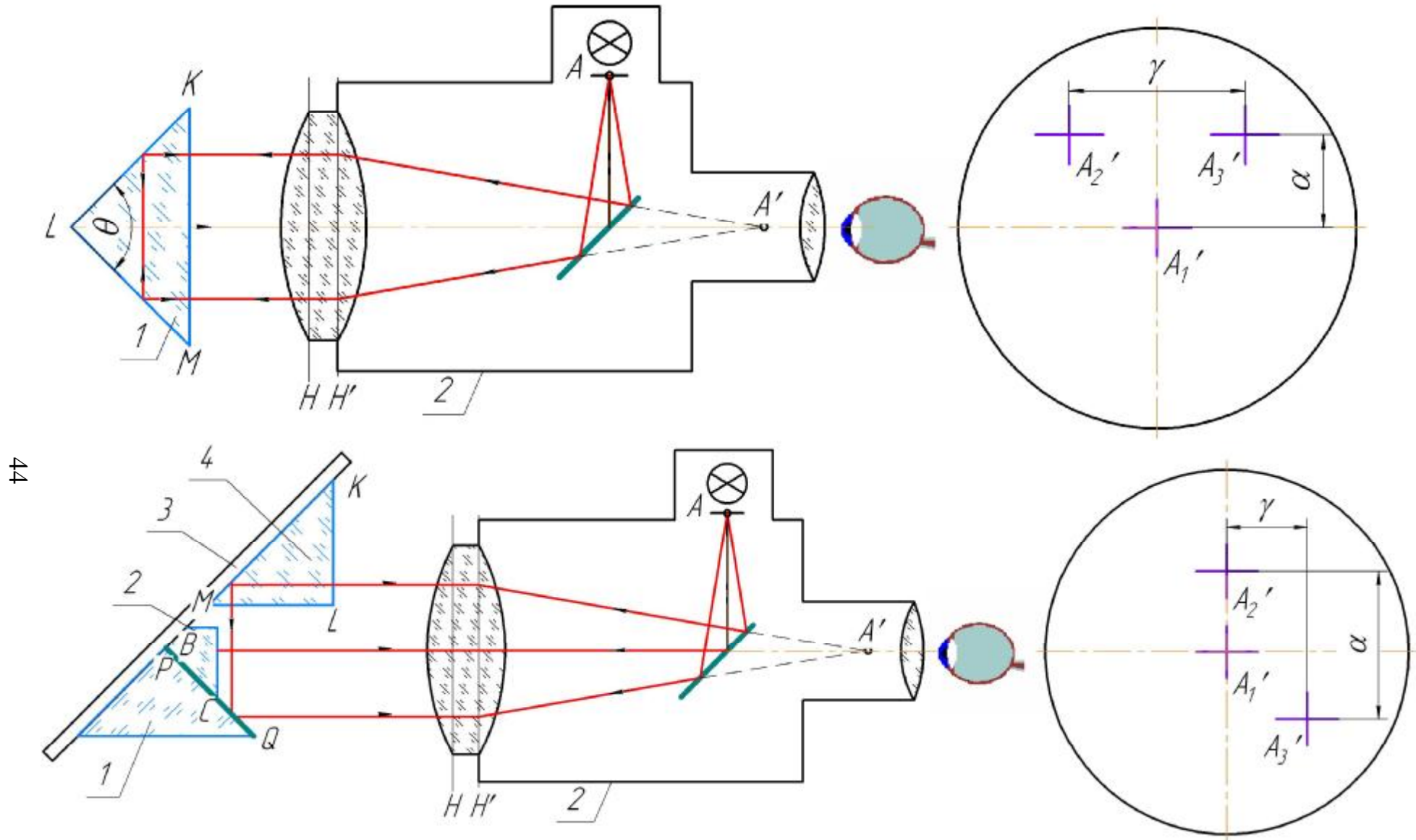


Рисунок 3.4 – Схеми одночасного вимірювання пірамідальності та кутових похибок рівнобедрених призм:
а) при відомому показнику заломлення призми; б) з використанням додаткових призм

Похибку прямого кута призми визначають за значенням зміщенням відблисків A'_2 та A'_3 відносно один одного. Якщо прямий кут витриманий абсолютно точно, то обидва відблиски суміщені. Відстань g між ними, виражена в кутовій мірі, пов'язана з похибкою прямого кута залежністю:

$$\Delta q = \frac{g}{4 \cdot n} \quad (3.7)$$

Необхідно відмітити, що g не залежить від орієнтації призми відносно вісі зорової труби. При обертанні призми навколо вісі, що перпендикулярна до площини креслення, відблиски A'_2 та A'_3 залишаються нерухомими, оскільки вони утворилися при парній кількості відбиттів.

Для вимірювань за схемою рис.3.4 б, немає необхідності знати значення показника заломлення призми, оскільки світлові пучки, що створюють автоколімаційні відблиски, не проходять крізь призму. За цією схемою одночасно різницю однакових кутів $q = 45^\circ$ та пірамідальність. Вимірювальну призму 4 притискають гіпотенузною гранню до скляної пластини 3. На пластині встановлені дві допоміжні призми 1 та 2 із дзеркальними гранями PQ та BC . Грань PQ перпендикулярна до опорної площини пластини. Грань BC паралельна ребру двогранного прямого кута, а кут між гранями BC та PQ дорівнює 135° . Вісь авто колімаційної зорової труби 5 встановлена перпендикулярно до грані BC .

Пучок променів, який виходить із труби 5, ділиться по площі на три частини. Автоколімаційний відблиск A'_1 від грані BC розташований в центрі поля. В результаті послідовного відбиття променів від граней PQ , ML і знову PQ утворюється відблиск A'_2 . Промені, відбиті від грані KL формують відблиск A'_3 . При обертанні призми 4 навколо вісі, що перпендикулярна до її гіпотенузної грані, відблиски A'_2 та A'_3 переміщуються в горизонтальному напрямку. Обертаючи призму, її встановлюють так, щоб автоколімаційний відблиск A'_2 співпав з вертикальним штрихом сітки зорової труби і вимірюють

в кутовій мірі відстані g та a . Різниця однакових кутів $d \approx \frac{a}{2}$, а пірамідальність: $p \approx \frac{g}{4 \cdot \cos(q)}$.

Неточність виготовлення допоміжних призм вносять похибки до вимірювання. Значення цих похибок оцінюють за формулами: $\Delta d \approx 2 \cdot y$; $\Delta p \approx 2 \cdot j \cdot \cos(q)$, де y - похибка прямого кута між опорною площиною пластини та гранню PQ ; j - похибка кута q° між гранню BC та ребром двогранного кута.

Устрій гоніометра Г5М [3]

Гоніометр Г5М – це оптичний контрольно-вимірювальний прилад лабораторного типу, призначений для технічних вимірювань:

- горизонтальних кутів між нормаллями до плоских полірованих граней твердих прозорих і непрозорих тіл;
- вертикальних кутів.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики гоніометра

Границя допустимої похибки приладу при вимірюванні горизонтальних кутів	5"
Діапазон вимірювання горизонтальних кутів	0К360°
Границі допустимої похибки при вимірюванні вертикальних кутів граней призм в діапазоні $\pm 5'$	$\pm 10''$
Діаметр об'єкту, що розміщується на столику приладу, не більше	200 мм
Граничний кут дозвільної здатності автоколіматора	3"
Ціна поділки шкали оптичного мікрометра	1"
Ціна поділки шкали окуляра Аббе	10"
Фокусна відстань автоколіматора	400 мм
Світловий діаметр об'єктиву	50 мм
Поле зору автоколіматора	25'
Гоніометр забезпечує роботу від полірованих граней розміром, не менше	10x10 мм

Гоніометр складається із автоколіматора 1 рис.3.5, мікроскопа 2, корпуса 3, столика 4 з лімбом та осевою системою. Фокусування автоколіматора проводиться маховичком 5 за шкалою 6, на якій є індекс « ∞ » та поділки. Гвинт 7 слугує для юстировки візирної осі по вертикалі. Окуляри закріплюються до автоколіматора власними кільцями 8. Лімб гоніометра освітлюється лампою, що закривається ковпачком 9. Встановлення осі лімба в вертикальне положення проводиться гвинтами 10 за рівнем 11. Обертання лімба відносно столика виконується маховичком 12 при загвинченому гвинті 13.

Обертання лімбу зі столиком проводиться грубо від руки та точно мікрометричним гвинтом 14 при загвинченому гвинті 13. Обертання столика при нерухомому лімбі проводиться грубо від руки при загвинченому гвинті 13 та відпущеному гвинті 15. Точне обертання виконується мікрометричним гвинтом 16 при загвинчених гвинтах 15 та 13.

Для правильного встановлення вимірювальної призми передбачений нахил столика в двох взаємно перпендикулярних площинах, що виконується гвинтами 17 та 18. Для зміни висоти столика передбачено набір кілець 19.

Прилад вмикається в мережу змінного струму вимикачем 20 на передній панелі приладу.

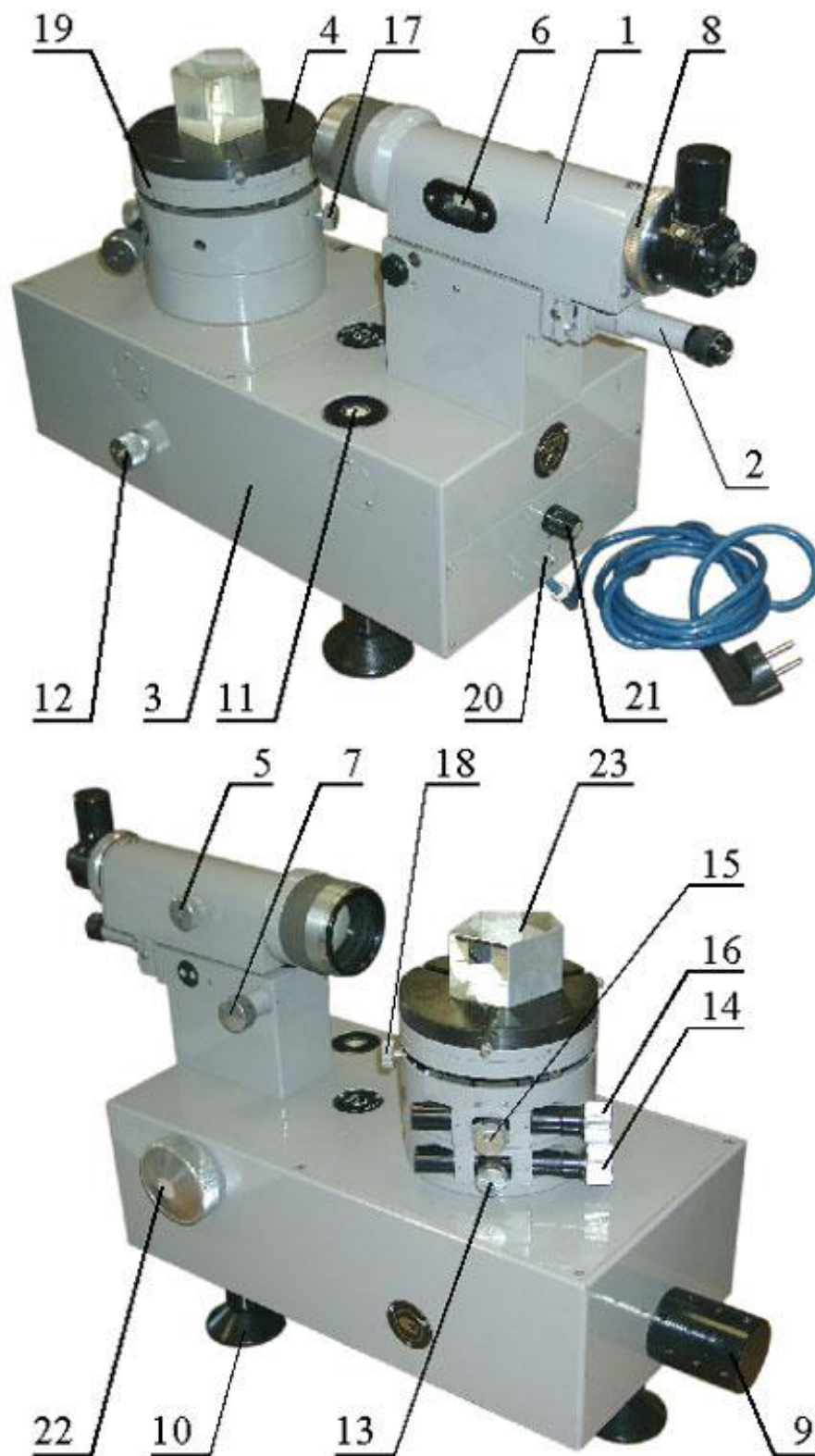


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд гоніометра Г5М

1 – автоколіматор; 2 – мікроскоп; 3 – корпус; 4 – столик; 5 – маховик фокусування автоколіматора; 6 – шкала; 7 – навідний гвинт автоколіматора; 8 – кільце; 9 – ковпачок підсвічування лімба; 10 – під’ємний гвинт; 11 – рівень встановлювальний; 12 – маховик переміщення лімба; 13, 15 – затискний гвинт; 14 – мікрометричний гвинт нижнього столика; 16 – мікрометричний гвинт верхнього столика; 17, 18 – гвинт нахилу столика; 19 – кільце ; 22 – маховик оптичного мікрометра

Оптична принципова схема гоніометра

Оптична схема гоніометра складається із автоколіматора та відлікової системи рис.3.6.

Автоколіматор 2, 3, 4, 5 представляє собою телескопічну систему із внутрішнім фокусуванням. Відліковий пристрій складається із підсвічування 6, 7, 8, 9, 10, скляного лімба 11, мостика 12, 13, 14, 15, оптичного мікрометра 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 та відлікового мікроскопа 24, 25, 26, 27.

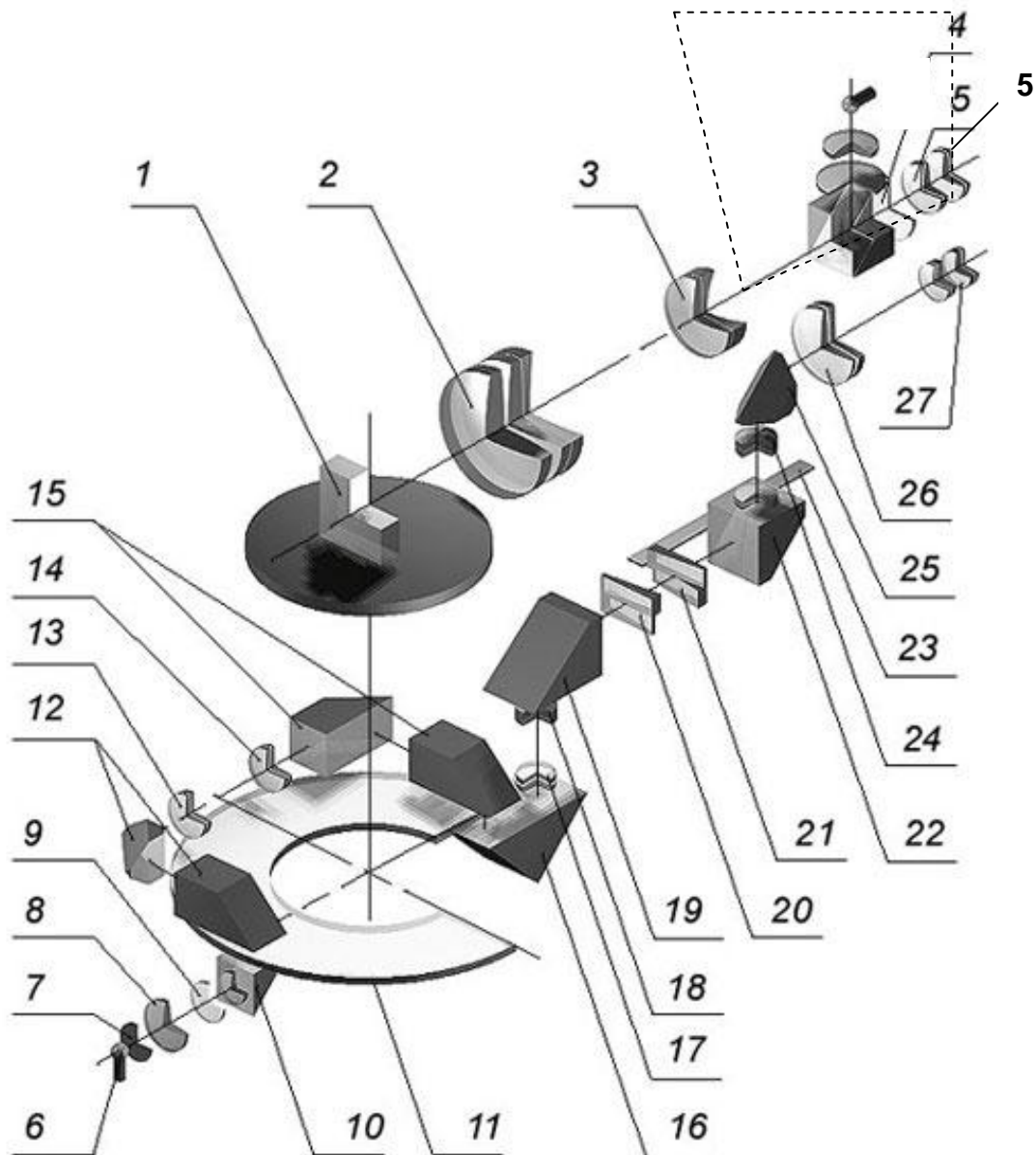


Рисунок 3.6 – Оптична принципова схема гоніометра:

1- плоско паралельна пластина; 2, 3 – об’єктив; 4 – сітка; 5 – автоколімаційний окуляр; 6 – лампа; 7 матове скло; 8 – лінза; 9 – світлофільтр; 10, 12, 15, 16, 19, 25 – призми відлікового пристрою; 11 – лімба; 13, 14, 17, 18, 24, 26 – лінзи об’єктивів відлікового пристрою; 20 – нерухомі клинці; 21 – рухомі клинці; 22 – роздільний блок; 23 – шкала; 27 – окуляр відлікового пристрою

Лампа 6 крізь матове скло 7, конденсор 8, світлофільтр 9 та призму 10 освітлює лімба 11. Шкала лімба має 1080 поділок, ціна поділки $20'$. Оцифровка поділок виконана через 1° . Зображення штрихів лімба через мостик 12, 13, 14, 15 передається на діаметрально протилежну ділянку лімба. При цьому значно зменшується вплив ексцентриситету лімба на значення відліку. Зображення штрихів двох діаметрально протилежних ділянок лімба передаються на оптичний мікрометр.

Принцип дії оптичного мікрометра полягає в наступному. На шляху променів від лімбу 11 до розподільчого блоку 22 розміщені дві пари оптичних клинців 20 та 21 рис.3.6. В верхній та нижній парах клинці мають однакові, але спрямовані в протилежні сторони кути і представляють собою в сумі плоскопаралельні пластинки рис.3.7.

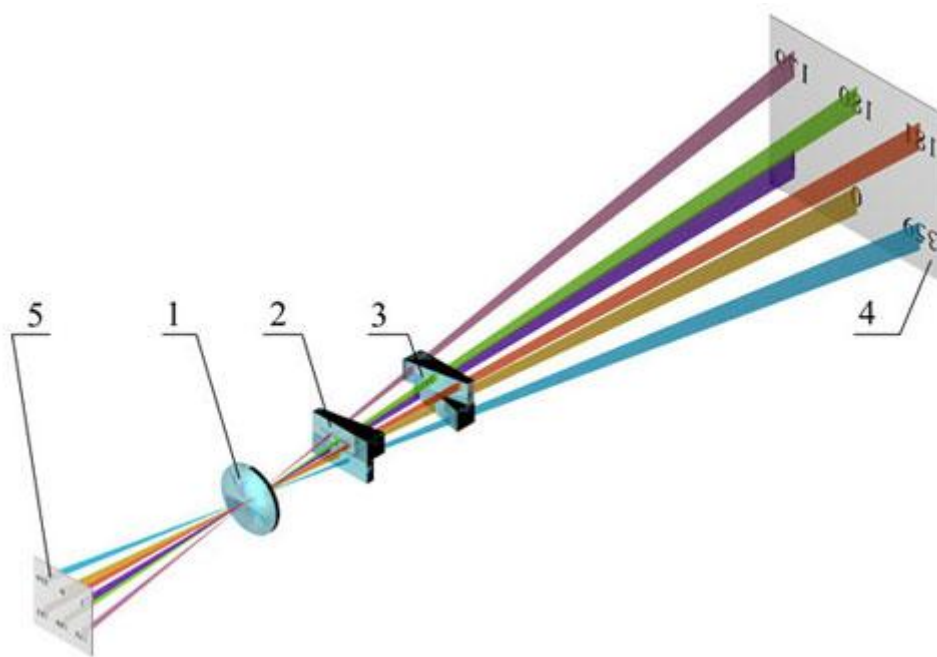


Рисунок 3.7 – Схема оптичного мікрометра

Верхні клинці із пар клинці 2 та 3 розташовані на шляху променів, що дають пряме зображення штрихів лімба, нижні – на шляху променів, що дають зворотне зображення штрихів діаметрально протилежної ділянки лімба. При русі рухомих клинців 3 вздовж оптичної вісі промені переміщуються в поперечному напрямку. Таким чином, переміщенням клинців в прямому і зворотному напрямку суміщають або розводять зображення штрихів 4 діаметрально протилежних зображень ділянок лімба 5.

Зображення штрихів лімба та шкали 22 мікрометра, що жорстко з'єднана з рухомими клинцями, розглядають в окуляр 27.

При переміщенні шкали на 600 поділок верхнє зображення штрихів лімба зміщується відносно нижнього $10'$. Кожна поділка шкали мікрометра

відповідає $\frac{1}{600}$ кута $10'$, тобто куту рівному $1''$.

Зняття відліків

Поле зору відлікового мікроскопа наведено на рис.3.8.

Щоб зняти відлік по лімбі, необхідно повернути маховичок оптичного мікромметра до суміщення верхніх та нижніх зображень штрихів лімба в лівому вікні. Кількість градусів дорівнює видимій найближчій лівій від вертикального індекса цифри.

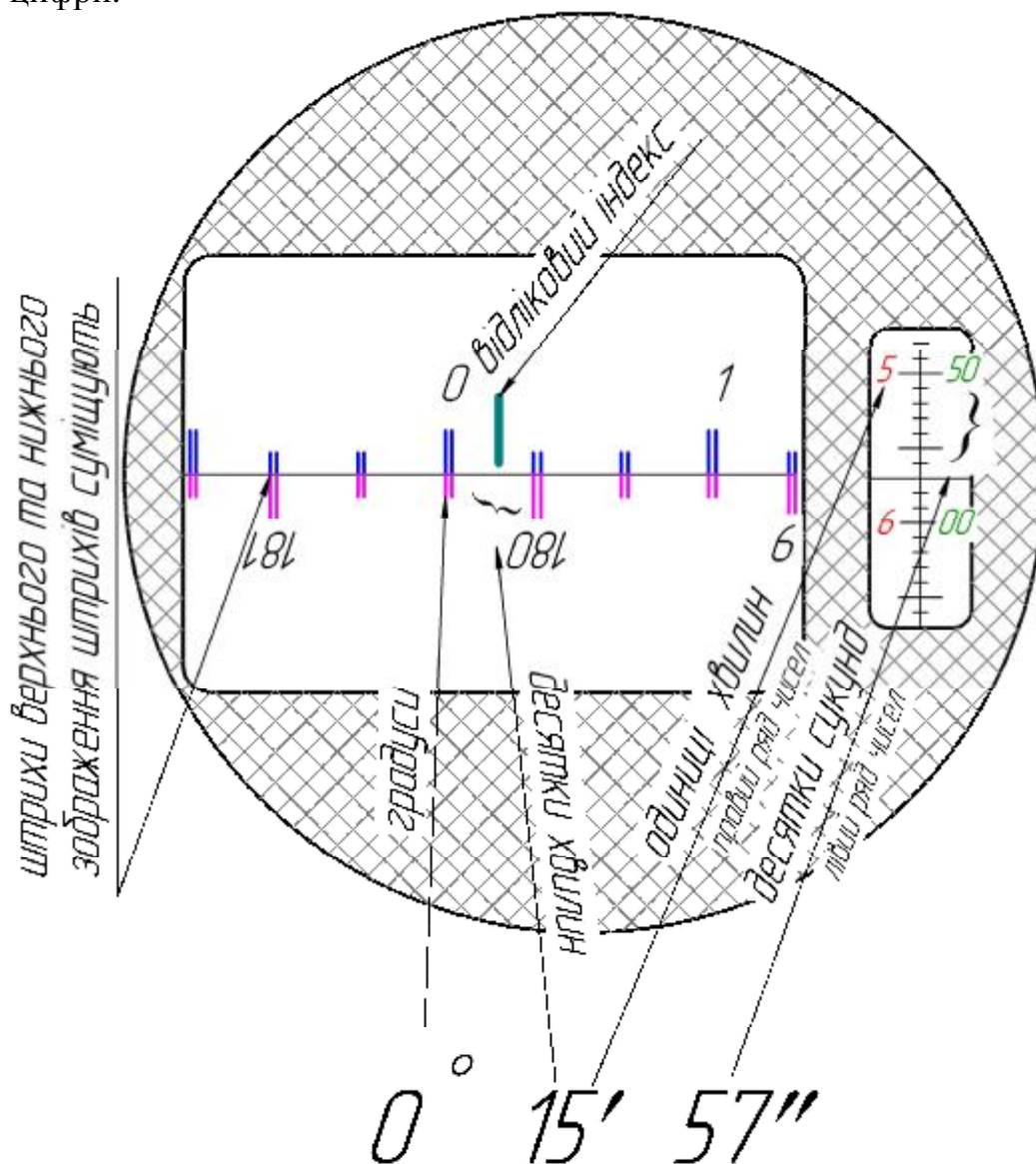


Рисунок 3.8 - Поле зору відлікового мікроскопа

Число десятків хвилин дорівнює кількості інтервалів, що лежать між верхнім штрихом, який відповідає відліченому числу градусів і нижнім оцифрованим штрихом, який відрізняється від верхнього на 180° . Число одиниць хвилин відраховується за шкалою мікромметра в правому вікні за лівим рядом чисел. Число десятків секунд – в тому ж вікні за правим рядом чисел. Число одиниць секунд дорівнює числу поділок між штрихами, що відповідає відліку десятку секунд, та нерухомим горизонтальним індексом.

4. Виконання роботи

Завдання 1. Підготовка оптичної системи гоніометра до роботи

Перед початком вимірювання необхідно за допомогою плоскопаралельної пластини перевірити перпендикулярність візирної осі зорової труби до осі обертання алідади. Пластинку встановити на столику гоніометра і зафіксувати її за допомогою затискних гвинтів, що кріпляться в пазах столика. Гвинтами домогтися, щоб полірована грань пластинки була перпендикулярна до візирної осі зорової труби. При правильній установці автоколімаційне зображення, отримане від пластинки, збігається з перехрестям сітки зорової труби.

Повернувши алідаду (при нерухомому столику) на 180° , перевірити збіг перехрестя сітки з автоколімаційного зображенням, отриманим від протилежної грані пластинки по вертикалі. При розбіжності зробити юстировку гвинтами столика і гвинтом зорової труби, виправляючи кожним половину розміру розбіжності.

Перевірку робити доти, поки не буде точного суміщення. Потім перевірити збіг перехрестя при повороті труби і столика з лімбом на 90° .

Візирна вісь коліматора повинна бути паралельна візирній осі зорової труби. Ця умова забезпечується суміщенням перехрестя сітки зорової труби з зображенням перехрестя сітки коліматора. Суміщення досягається обертанням гвинта юстировки коліматора, аналогічного гвинту 3 зорової труби.

Завдання 2. Вимірювання кута між гранями призми або клина

1. Перевірити встановлення гоніометра за рівнем 11.

2. Вставити диск столика за накладеним рівнем, в горизонтальне положення.

3. Призму (клин) встановити на столик так, щоб одна із граней розташовувалась приблизно перпендикулярно до візирної осі автоколіматора та осі гвинта 17.

4. Для зменшення впливу клину граней вимірювальної призми, обертаючи столик з лімбом, необхідно спостерігати почергово автоколімаційне зображення кожної грані призми та, рухаючи гвинтами 17, 18 нахилу столика, досягти, щоб зміщення автоколімаційного зображення горизонтального штриха відносно горизонтального штриха сітки окуляра при спостереженні різних граней було мінімальним.

5. Обертанням столика з лімбом спочатку від руки, а потім (застопоривши столик затискним гвинтом 13) навідним гвинтом 18 сполучити автоколімаційне зображення вертикального штриха з вертикальним штрихом сітки окуляра. Ця операція називається автоколімаційним наведенням.

Зняти відлік a_1 за відліковим пристроєм, суміщаючи зображення діаметрально протилежних штрихів лімба за допомогою 22 маховика оптичного мікрометра.

Виконати повторне автоколімаційне наведення, для чого розвести і знову сумістити зображення штрихів за допомогою гвинта наведення 18. Зняти відлік a_2 , суміщаючи зображення діаметрально протилежних штрихів лімба за

допомогою 22 маховика оптичного мікрметра. Отримані результати занести до таблиці 3.1.

За відлік напрямку a_{np} прийняти середнє арифметичне значення:

$$a_{np} = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (3.8)$$

6. Спочатку від руки, а потім навідним гвинтом 14 зробити автоколамаційне наведення на наступну грань призми аналогічно попередньому. Зняти відліки b_1 і b_2 і обчислити напрямок b_{np} :

$$b_{np} = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad (3.9)$$

Отримані результати відліків та розрахунків занести до таблиці 3.1.

7. Значення кута визначити за формулою:

$$a_{np} = a_{np} - b_{np} \quad (3.10)$$

Таким чином, кут вимірюється одним напівприйомом.

8. Визначити уточнене значення кута повним прийомом вимірювання.

Отримане раніше описаним засобом значення кута вважають значенням прямого ходу a_{np} . Повертають столик з лібмом у зворотному напрямку визначають $a_{зв}$ та $b_{зв}$. При цих вимірюваннях знаходять значення $a_{зв} = a_{зв} - b_{зв}$ (зворотній хід) Отримані результати відліків та розрахунків занести до таблиці 3.2.

Тоді кінцеве значення кута a , що визначається одним прийомом вимірювання:

$$a = \frac{a_{np} + a_{зв}}{2} \quad (3.11)$$

Кут між гранями призми або клина визначається за формулою:

$$j = 180^\circ - a .$$

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання кута між гранями призми або клина

прямий хід				зворотній хід			
a_1	a_2	b_1	b_2	b_1	b_2	a_1	a_2
$a_{np} =$		$b_{np} =$		$a_{зв} =$		$b_{зв} =$	
$a_{np} =$				$a_{зв} =$			
$a =$							

Завдання 3 . Вимірювання вертикальних кутів призм

Вимірювання вертикальних кутів (нахилу граней призми) проводиться гоніометром за допомогою окуляра-куба або окуляра Аббе. Окуляр – куб забезпечує вимірювання вертикальних кутів призм одночасно із вимірюванням горизонтальних кутів. Окуляр – Аббе забезпечує вимірювання вертикальних кутів із більшою продуктивністю у порівнянні із окуляром – кубом.

1. Перевірити перпендикулярність візирної вісі автоколіматора до вісі обертання столика (див. завдання 1).

2. Вимірювання з окуляром Аббе:

- Встановити призму на столик; виконати автоколімаційне наведення на її першу грань, при цьому суміщення авто колімаційного зображення перехрестя з центром сітки по висоті виконують тільки обертанням гвинта 18.
- Виконати наведення на грань розташовану під кутом 90° (або найближчий до нього) по відношенню до першої грані, і обертання гвинта 17 суміщують автоколімаційне зображення перехрестя з центром сітки.
- Позмінним наведенням на ці дві грані переконуються, що вони перпендикулярні до площини вимірювання (паралельні вісі обертання столика).
- Виконують почергове наведення на всі інші грані призми. Знімають відліки a_i за вертикальною шкалою окуляра Аббе.
- Найбільший відлік за абсолютним значенням $a_{i \max}$ буде значенням вертикального кута вимірюваної призми.

3. Вимірювання з окуляром – кубом виконується за допомогою відлікового пристрою лімба та нахилоного штриха, який нанесений під кутом 45° до вертикального штриха перехрестя проекційної та окулярної сітки.

- Необхідно сумістити (обертанням столика з лімбом) автоколімаційне зображення нахилоного штриха проекційної сітки з нахиленим штрихом окулярної сітки.
- Кутове зміщення b , отримане як різниця двох відліків: a_1 , знятого за лімбом і шкалою мікрометра при суміщенні вертикальних штрихів проекційної та окулярної сіток; та a_2 , знятого при суміщенні нахилених штрихів проекційної та окулярної сітки.
- Визначити значення вертикального кута за формулою: $b = a_1 - a_2$

5. Контрольні питання

1. Колімаційний метод вимірювання кутів призм. Похибка кутових вимірювань.
2. Вимірювання пірамідальності призм колімаційним методом. Кут пірамідальності.
3. Вимірювання кута відхилення відбиваючих призм.
4. Автоколімаційний метод вимірювання кутів призм.
5. Оптична принципова схема гоніометра Г5М.
6. Схема оптичного мікрометра. Зчитування відліків.

6. Література

1. Афанасьев В.А. Оптические измерения: Учебник для вузов – М.: Высш.школа 1981. – 229 с.
2. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения: Учебник для вузов по специальности «Оптико-электронные приборы» и «Технология оптического приборостроения» /Под общ. Ред. Д.Т. Пуряева. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
3. Гоніометр Г5М. Технічне описання і інструкція по експлуатації 2.787.089ТО

МОДУЛЬ 2 «ФІЗИЧНА ОПТИКА»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2.1

ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО СКЛА

Показник заломлення – важлива оптична характеристика прозорих середовищ. Вона визначає функціонування хрусталика ока. Найбільш розповсюдженими методами вимірювання показників заломлення і дисперсії оптичних матеріалів у видимій області спектру є гоніометричні, рефрактометричні та інтерференційні. Ці методи забезпечують необхідну у більшості випадків точність вимірювання і використовуються для вимірювання за допомогою серійних приладів.

1. Мета роботи

1. Вивчити фізичні закони відбиття і заломлення світла на границі розділу двох середовищ.
2. Набути навички роботи з рефрактометром: виміряти показник заломлення і концентрацію розчину.
3. Дослідити залежність показника заломлення розчину від його концентрації.

2. Підготовка до роботи

Вивчити наступні питання:

1. Явища, що виникають при падінні світла на границю розділу двох середовищ. Закони відбиття і заломлення світла. Хід променів при переході світла із оптично більш щільного в менш щільне середовище. Хід променів при переході світла із оптично менш щільного в більш щільне середовище.
2. Фізичний зміст абсолютного та відносного показника заломлення.
3. Умова повного внутрішнього відбиття.
4. Зв'язок граничного кута заломлення і кута повного внутрішнього відбиття.
5. Метод визначення показника заломлення речовини за допомогою рефрактометра.
6. Використання рефрактометрів в біології, фармації та медицині.

3. Теоретичні відомості

3.1 Гоніометричний метод

Вимірювання показників заломлення на гоніометрі можна виконувати методом найменшого відхилення, автоколімаційним методом, методом променя, що нормально входить в призму або нормально виходить із неї та ін.

Метод найменшого відхилення. При вимірюваннях цим методом необхідно із досліджуваного скла, виготовити двогранну призму із заломлюючим кутом q .

кут заломлення q	60°	50°	40°
показник заломлення n_D	< 1.65	$1.65 \text{К} 1.75$	> 1.75
довжина грані в напрямку, паралельному до головного перетину	не менше 25	не менше 30	35

Обидві діючі грані призми повинні бути відполіровані з точністю $\frac{1}{4}$ інтерференційної смуги. Розміри призми повинні бути такими, щоб якомога повніше використати пучок променів, який виходить із коліматора гоніометра. Рекомендується виготовляти призми з висотою не менше 10 мм.

Сутність метода полягає в тому, що призму встановлюють в особливе положення по відношенню до падаючого на неї паралельного пучка променів так, щоб кут відхилення w променів мав мінімальне значення із всіх можливих кутів відхилення для даної призми. В цьому випадку промені всередині призми пройдуть паралельно бісектрисі заломлюючого кута q призми, а показник заломлення призми пов'язаний із кутами q та w залежністю:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{q+w}{2}\right)}{\sin\left(\frac{q}{2}\right)} \quad (1.1)$$

Визначивши на гоніометрі кути q та w , можна за формулою (1.1) розрахувати показник заломлення призми для вибраної довжини хвилі.

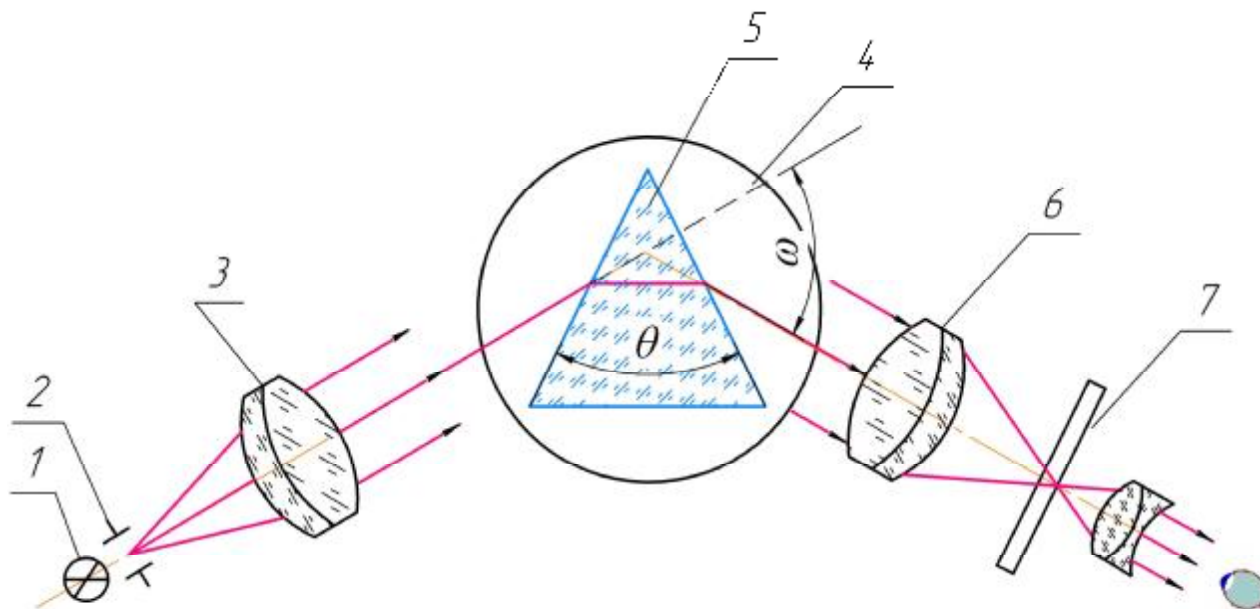


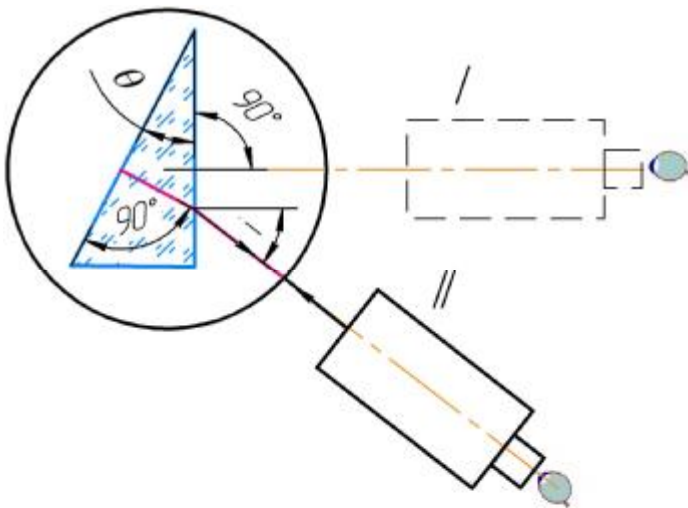
Рисунок 1.1 – Схема вимірювання показника заломлення на гоніометрі методом найменшого відхилення

Автоколімаційний метод. Метод заснований на вимірюванні заломлюючого кута q призми, виготовленої із досліджуваного скляного

матеріалу, а також кута w , утвореного нормаллю до однієї із її граней і променями, відбитими від іншої грані. Одна із робочих граней повинна бути алюмінована або посріблена.

кут заломлення q	30°	25°	20°
показник заломлення n_D	<1.65	$1.65 \text{K} 1.75$	>1.75

Призму встановлюють на столик гоніометра рис.1.2 і виконують вимірювання тільки за допомогою авто колімаційної зорової труби, встановлюючи її в два положення. В положенні I вісь труби перпендикулярна до грані призми, яка не має дзеркального покриття, що фіксується за співпадінням авто колімаційного зображення перехрестя із самим перехрестям; знімають перший відлік. Потім повертають зорову трубу до основи призми (положення II) до отримання автоколімації від дзеркальної грані; знімають другий відлік. За різницею двох відліків визначають кут i . Заломлюючий кут призми q повинен бути відомий або вимірний.



Показник заломлення розраховують за формулою:

$$n = \frac{\sin(i)}{\sin(q)} \quad (1.2)$$

Рисунок 1.2 – Схема вимірювання на гоніометрі автоколімаційним методом

Метод променя, що нормально входить в призму або нормально виходить із неї. Вимірювання виконують на гоніометрі за допомогою коліматора та зорової труби рис.1.3. Призма має таку ж форму, що і в попередньому методі. Спочатку суміщають зображення щілини коліматора з центром перехрестя зорової труби. Потім на стіл гоніометра встановлюють призму в положення I так, щоб одна із її граней була перпендикулярна до вісі зорової труби (перевірка по автоколімації); знімають перший відлік. Потім обертають столик з призмою точно на 180° , що забезпечує нормальне падіння промені, які виходять із коліматора, на іншу грань призми.

Далі обертаючи зорову трубу до основи призми (положення II) до суміщення зображення щілини з центром перехрестя; знімають другий відлік. За різницею двох відліків визначають кут i . Із закону заломлення маємо, що:

$$n = \frac{\sin(q + i)}{\sin(q)} \quad (1.3)$$

При вимірюванні методом променя що нормально виходить із призми, після встановлення зорової труби перпендикулярно до однієї із граней призми столик жорстко з'єднують із зоровою трубою і як одне ціле повертають до суміщення зображення щілини з центром перехрестя (в цьому випадку коліматор і зорова труба начеб то міняються місцями у порівнянні з методом променя, що входить в призму). Показник заломлення розраховується за формулою (1.3).

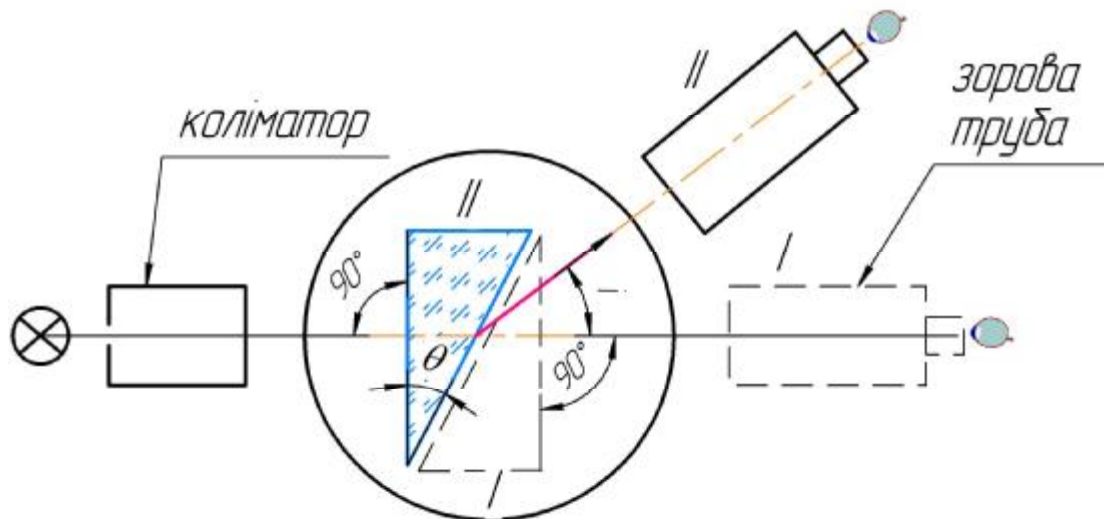


Рисунок 1.3 – Схема вимірювання показника заломлення на гоніометрі методом променя, що нормально входить в призму або нормально виходить із неї

3.2 Рефрактометричний метод

Метод вимірювання показника заломлення – **рефрактометрія** – використовується в лабораторній практиці для визначення концентрації речовини в розчині, встановлення його дійсності.

Визначення показника заломлення досліджуваних середовищ, в тому числі і рідких, складає основу **методу рефрактометрії**. Він широко використовується як метод кількісного аналізу в клінічних дослідженнях, біохімії, харчовій промисловості та інших напрямках лабораторного аналізу.

Для оцінки коефіцієнта заломлення можуть бути використані різні фізичні явища:

- Залежність кута повного внутрішнього відбиття від показника заломлення;
- Заломлення світла в призмі, що виконана із контрольованого середовища (спектрометрична рефрактометрія), використовується залежність показника заломлення середовища від довжини хвилі падаючого випромінення, при цьому існує деякий набір довжин хвиль, на яких виконується дослідження;
- Інтерференція потоків випромінення, що пройшли два середовища з різними показниками заломлення, одне з яких є еталонним. При цьому фіксується різниця фаз для потоків, що пройшли різні середовища, і, якщо спостерігати обидва потоки одночасно, можна отримати характерну

інтерференційну картину. При розміщенні на шляху одного із пучків випромінення досліджуваної рідини проходить зсув інтерференційних смуг, який пропорційний різниці величин показників заломлення;

- Залежність співвідношення інтенсивностей відбитого I_0 і заломленого I_3 випромінення на границі розділу середовищ від показника заломлення контрольованого середовища $\frac{I_0}{I_3} = f(n)$. При високій стабільності

характеристик падаючого випромінення можна реєструвати тільки відбитий потік, який буде нести інформацію про фізико-хімічні властивості досліджуваної рідкої проби;

- Фокубуючу дію контрольованого середовища, наприклад, якщо пучок випромінення переходить із середовища більшого заломлення в середовище меншого заломлення, то кут падіння виявляється менше кута заломлення.

Показник заломлення розчинів n визначається показником заломлення розчинника n_0 і лінійно залежить від концентрації c розчиненої речовини:

$$n = n_0 + A \cdot c \quad (1.4)$$

де A – коефіцієнт пропорційності, характерний для даної розчиненої речовини. Значення цього коефіцієнта визначено з високою точністю для багатьох речовин.

Тому формулу (1.4) можна використовувати для вимірювання концентрації відомих речовин. Для цього використовують прилади для визначення показника заломлення – рефрактометри.

Використання рефрактометрів в медичних і біофізичних дослідженнях [5]

1. Для визначення білку в сечі, сироватці крові, щільності сечі, аналізу мозкової і суглобної рідини, щільності субретинальної та іншої рідини ока.
2. Дослідження водяних розчинів різноманітних лікарських препаратів.
3. Аналіз продуктів і сировини, напівфабрикатів, кулінарних і мучних виробів на цукрових і хлібопекарських заводах. Визначення масової частки розчинених сухих речовин по сахарозі в продуктах переробки плодів і овочів.
4. Вміст білку в молоці і його продуктах; цукру в винограді та інших ягодах.
5. Об'ємну або масову частку алкоголю в горілці, вині, пиві.

Принцип дії і устрій рефрактометра

Рефрактометр призначений для вимірювання коефіцієнта заломлення розчинів різних речовин.

Граничний кут можна вимірювати двома способами. По-перше, можна спрямувати на границю розділу пучок променів зі сторони середовища з більшим показником заломлення під кутом, близьким до граничного, і спостерігати відбите світло рис.1.4, а. По-друге, можна освітити границю розділу середовищ ковзаючим пучком променів зі сторони малозаломлюючого

середовища і розглядати заломлені промені рис.1.4, б. В обох випадках спостерігається границя світлотіні, яка відповідає граничному куту. Другий спосіб «ковзаючого входження променів» дає досить чітку і контрастну границю, але придатний лише для прозорих середовищ.

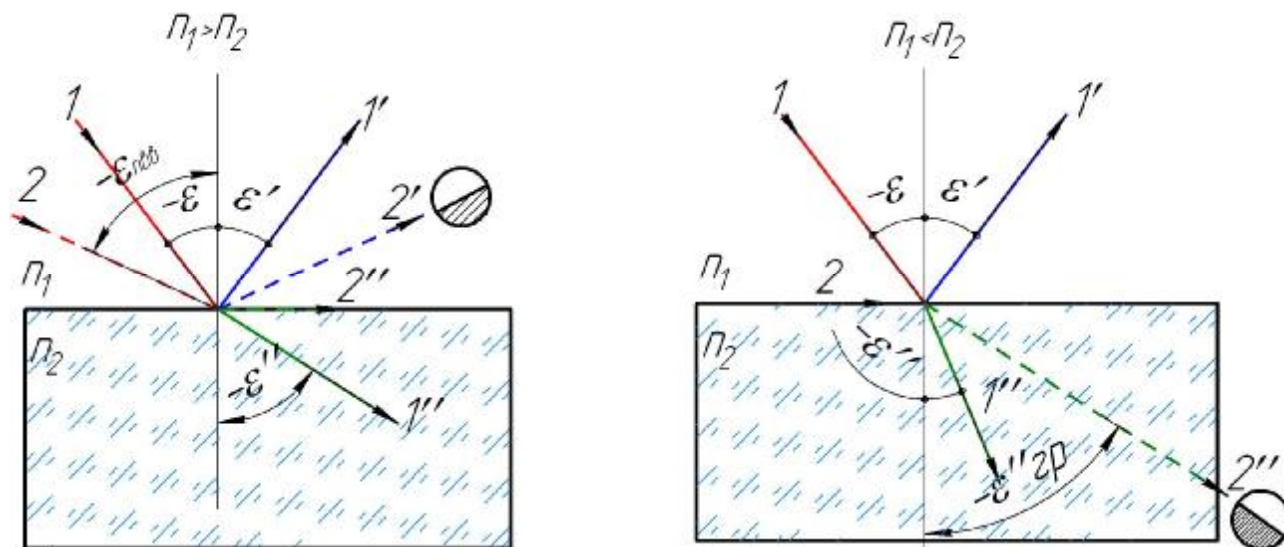


Рисунок 1.4 – Два способи спостереження граничного кута: а) в відбитому світлі; б) в прохідному світлі

Величина граничного кута на границі двох речовин залежить тільки від показників заломлення цих речовин.

Таким чином, якщо відомий показник заломлення однієї речовини, то показник заломлення другої речовини можна визначити, визначивши граничний кут e''_{cp} :

$$n_2 \cdot \text{Sin}(e''_{cp}) = n_1 \quad (1.5)$$

Зручність цього способу полягає в тому, що необхідно виміряти лише один кут, а досліджуваному тілу не потрібно надавати суворо визначену геометричну форму, оскільки для спостереження повного внутрішнього відбиття суттєвою є лише наявність плоскої границі розділу.

Суттєвою деталлю більшості рефрактометрів, заснованих на визначенні граничного кута, є вимірювальна призма із оптичного скла з точно відомим показником заломлення n_2 . Одна із граней вимірювальної (так звана вхідна грань) приводиться в оптичний контакт з вимірювальним тілом і слугує границею розділу, на якій проходить заломлення і повне внутрішнє відбиття. Заломлення або відбиття світла на цій грані спостерігається в зорову трубу зазвичай через другу (вихідну) грань призми рис. 1.5.

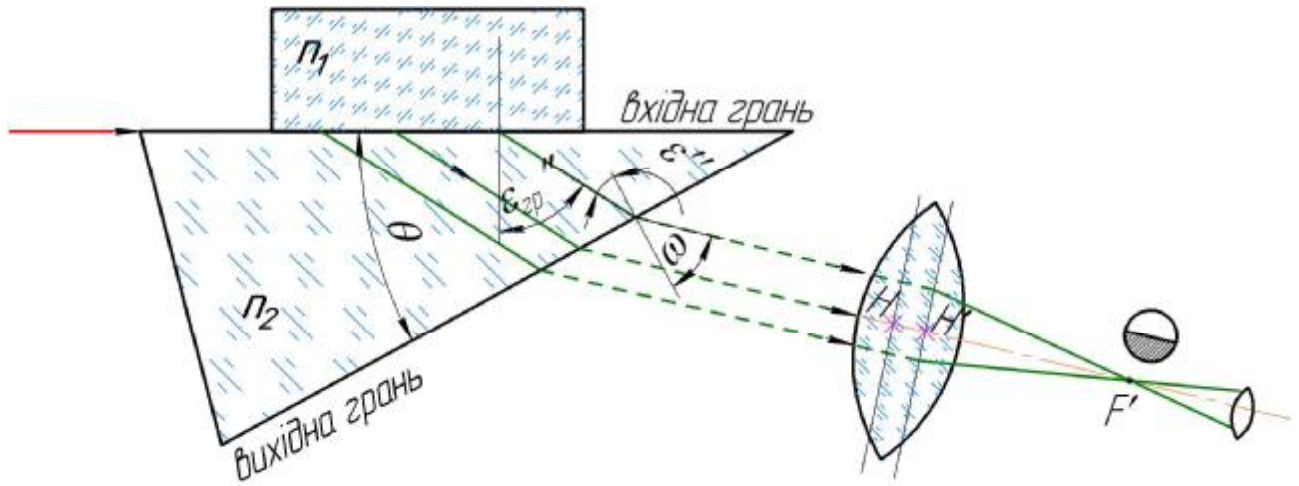


Рисунок 1.5 – Принципова схема рефрактометра, заснованого на вимірюванні граничного кута

При розгляді променів, що вийшли із призми, близьких до граничного кута, поле зору труби виявляється розділеним на освітлену і темну частини, границя між якими відповідає граничному куту. Верхня границя вимірюваних показників заломлення n_1 залежить від показника заломлення вимірювальної призми n_2 . При способі спостереження граничного кута рис.1.5 повинна виконуватися нерівність $n_1 < n_2$, тобто вимірюваний показник заломлення повинен бути менший за показник заломлення вимірювальної призми.

В методі граничного кута вимірюється, зазвичай, не безпосередньо граничний кут e''_{cp} , а кут ω між граничним променем і нормаллю до вихідної грані.

Формулу, яка пов'язує величину кута ω з показником заломлення досліджуваного середовища n_1 , нескладно отримати, розглядаючи заломлення граничного променя на гранях призми. Для повного внутрішнього відбиття на вхідній грані маємо співвідношення:

$$\text{Sin}(e''_{cp}) = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.6)$$

А для заломлення на вихідній грані:

$$\text{Sin}(\omega) = n_2 \cdot \text{Sin}(e'') \quad (1.7)$$

причому

$$e'' = \pm(e''_{cp} - q) \text{ або } e''_{cp} = q \pm e'' \quad (1.8)$$

Знак «плюс» в рівнянні (2.8) відноситься до випадку, коли граничний промінь виходить від нормалі в бік заломлюючого ребра призми рис. 1.5 а знак «мінус» - коли граничний промінь розташовується по іншу сторону від нормалі. Виключаючи проміжкові кути, отримаємо:

$$n_1 = \text{Sin}(q) \cdot \sqrt{n_2^2 - (\text{Sin}(w))^2} \pm \text{Cos}(q) \cdot \text{Sin}(w) \quad (1.9)$$

Ця формула лежить в основі всіх розрахунків при вимірюванні методом граничного кута на призмі.

В окремому випадку, коли $q = 90^\circ$ (рефрактометр Пульриха), маємо:

$$n_1 = \sqrt{n_2^2 - \text{Sin}(w)^2} \quad (1.10)$$

При $q = 60^\circ$ (рефрактометр Аббе):

$$n_1 = 0.5 \cdot \sqrt{3 \cdot (n_2^2 - (\text{Sin}(w))^2)} \pm \text{Sin}(w) \quad (1.11)$$

Диференціюючи по n_2 , q або w , нескладно отримати співвідношення, необхідні для врахування можливих похибок вимірювання. Найбільш важливою похибкою є похибка невідповідності істинного значення показника заломлення призми прийнятому при розрахунках n_2 . Похибка Δn_2 призводить до похибки в визначенні n_1 , рівну:

$$\Delta n_1 = \frac{n_2 \cdot \text{Sin}(q)}{\sqrt{n_2^2 - (\text{Sin}(w))^2}} \cdot \Delta n_2 \quad (1.12)$$

Неточність заломлюючого кута призми Δq викликає похибку вимірювання показника заломлення Δn_1 :

$$\Delta n_1 = \sqrt{n_2^2 - n_1^2} \cdot \Delta q \quad (1.13)$$

Наприкінці, кутомірною похибка Δw призводить до похибки Δn_1 , рівної:

$$\Delta n_1 = \frac{\text{Cos}(w) \cdot \sqrt{n_2^2 - n_1^2}}{\sqrt{n_2^2 - (\text{Sin}(w))^2}} \cdot \Delta w \quad (1.14)$$

4. Виконання роботи

Завдання 1. Гоніометричний метод

Виконати вимірювання кута відхилення за допомогою гоніометра. Виконати моделювання оптичної схеми за допомогою програми Optics.

1. Підготувати гоніометр до роботи.

- Встановити коліматор та зорову трубу на нескінченність рис.1.1. Візирні осі коліматора та зорової труби розташувати перпендикулярно до вісі обертання гоніометра.

- Щілина 2 коліматора, що освітлюється джерелом 1 повинна бути паралельна до вісі обертання гоніометра.

2. Вимірювання заломлюючого кута.

Заломлюючий кут q призми 5 визначається за допомогою автоколімаційної зорової труби, вісь якої послідовно встановлюється перпендикулярно до грані призми, що утворює кут q . Ці положення фіксуються в момент суміщення перехрестя сітки окуляра 7 зорової труби із автоколімаційним зображенням цього ж перехрестя. При цьому знімаються відліки a_1 та a_2 за лімбом гоніометра, а заломлюючий кут визначається за формулою: $q = 180^\circ - (a_1 - a_2)$

3. Вимірювання кута відхилення:

- Призму 5 становити на столі 4 гоніометра так, щоб світлові пучки, які падають на її грані і заломлюються на них, займали середину отвору об'єктива 3 коліматора та об'єктива 6 зорової труби;
- Столик із призмою повернути так, щоб бісектриса заломлюючого кута складала з віссю коліматора гострий кут, рівний приблизно 60° ;
- Закріпити стіл із призмою в цьому положенні і повернути зорову трубу до основи призми, доки не з'явиться зображення щілини 2 коліматора. В цьому положенні зорової труби стіл 4 з призмою повертають навколо вісі гоніометра і слідкують за рухом зображення щілини 2. Пройшовши деяку відстань, зображення щілини на мить зупиниться в положенні найменшого відхилення, а потім почне рухатися у зворотному напрямку;
- Закріпити столик з призмою в положенні найменшого відхилення, повертають зорову трубу і суміщують її перехрестя із зображенням щілини, після чого закріплюють зорову трубу;
- Злегка повернути столик із призмою мікрометричним гвинтом разом із відліковим лімбом в одну та іншу сторону, перевіривши відповідність встановлення труби куту найменшого відхилення. Якщо при малих поворотах столика з призмою зображення щілини дещо зміщується з перехрестя в сторону заломлюючого кута призми, то, встановивши призму в положення (крайне положення зображення), виправляють встановлення зорової труби;
- Точно сумістивши центр перехрестя із зображенням щілини в положення найменшого відхилення, знімають перший відлік b_1 ;
- Повертають трубу при закріпленому відліковому лімбі до тих пір, поки не з'явиться пряме зображення щілини, побудоване без участі призми, і знімають другий відлік b_2 . Різниця отриманих відліків дорівнює куту найменшого відхилення w для вибраної довжини хвилі.

4. Виконати моделювання оптичної схеми рис.1.1. Результати комп'ютерного моделювання занести до таблиці 1.1. Розрахувати показник заломлення.

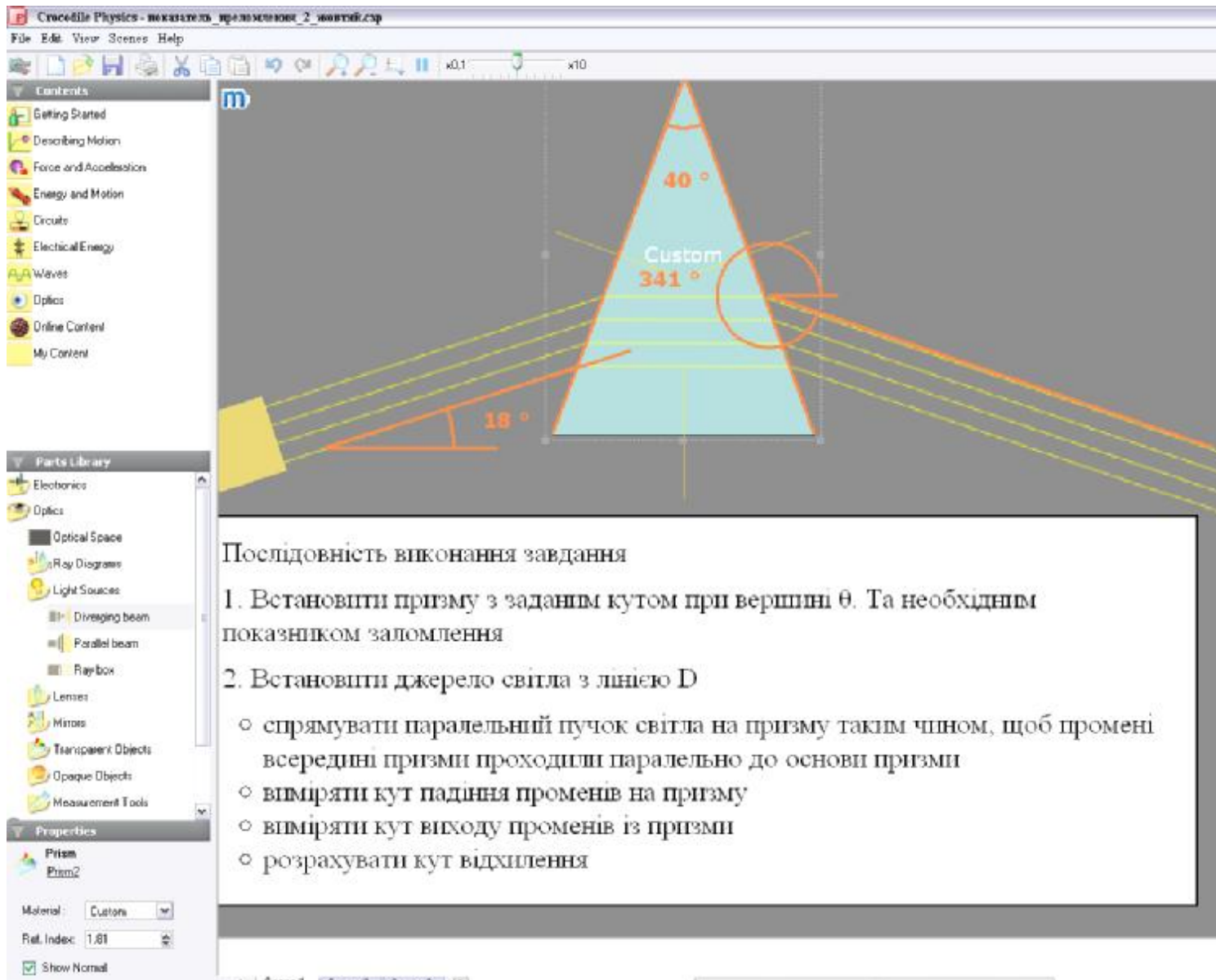


Рисунок 1.6 – Результат комп'ютерного моделювання оптичної схеми рис.1.1

Таблиця 1.1 – Результати комп’ютерного моделювання схеми рис.1.1

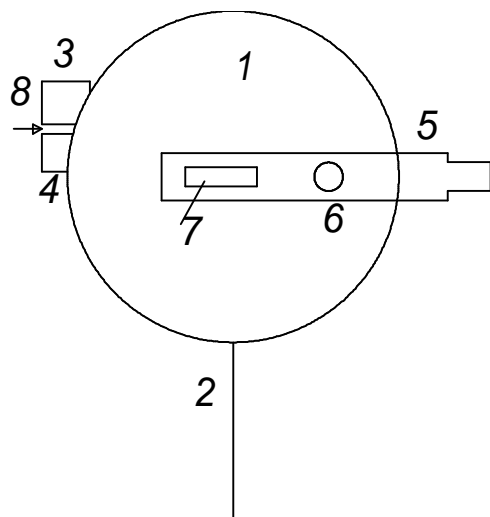
Вихідні дані			Експериментальні та розрахункові результати			
варіант	кут при вершині q	показник заломлення	кут падіння	кут виходу променів	кут відхилення	показник заломлення
приклад	40	1,81	18°	360° – 341° = 19°	$w = 18° + 19° = 37°$	$n = \frac{\sin(\frac{q+w}{2})}{\sin(\frac{q}{2})} = 1.82$
1	60	1,61				
2	60	1,65				
3	60	1,58				
4	50	1,69				
5	50	1,72				
6	50	1,75				
7	40	1,77				
8	40	1,78				
9	40	1,79				
10	40	1,85				

Завдання 2. Рефрактометричний метод

Ознайомитися з роботою рефрактометра РПЛ-3. Виконати моделювання оптичної схеми рефрактометра.

1. Ознайомитися з конструкцією рефрактометра.

Конструкція рефрактометра схематично представлена на рис.1.7.



1 – корпус; 2 – штатив; 3 – відкидна призма; 4 – вимірювальна призма; 5 – ручка; 6 – окуляр відлікового пристрою; 7 – компенсатор; 8 – промінь світла

Рисунок 1.7 – Конструкція рефрактометра РПЛ-3

Корпус рефрактометра 1 закріплений на штативі 2. На корпусі закріплена допоміжна відкидна призма з матовою нижньою гранню 3 і вимірювальна призма 4. Відліковий пристрій має ручку 5, на якій розташований окуляр 6

відлікового пристрою і рукоятка компенсатора 7. Промінь світла 8 повинен падати на призму 3 із вікна або спеціального освітлювача.

2. Виконати вимірювання показника заломлення:

- Відкиньте вверх допоміжну відкидну призму з матовою нижньою гранню і нанесіть піпеткою три каплі дистильованої води на поверхню вимірювальної призми. Опустіть відкидну призму.
- Зорієнтуйте рефрактометр так, щоб на допоміжну призму падало світло так, як це показано на рис.1.8.
- Дивлячись в окуляр 6 відлікового пристрою і пересуваючи рукоятку 5 відлікового пристрою знайдіть границю світло-темнота. Якщо границя зафарбована, поворотом рукоятки компенсатора 7 досягайте, щоб границя стала чорно-білою. Обертанням окуляра 6 досягніть того, щоб границя стала різкою.
- Пересуваючи рукоятку відлікового пристрою сумістіть три штриха, з границею чорної смуги. Зробіть відлік значення показника заломлення рідини по лівій шкалі. Якщо отримали показник заломлення води $n=1,333-1,334$, прилад відрегульований.

Увага! Після кожного вимірювання поверхню призми промокнути м'якою серветкою, потім капнути на призму дистильованої води і ще раз промокнути.

3. Виконати моделювання оптичної схеми рефрактометра рис.1.5. Результати комп'ютерного моделювання занести до таблиці 1.2. Розрахувати показник заломлення досліджуваної речовини. Визначити гранично допустиму похибку моделювання. Для цього визначаємо складові абсолютної похибки від впливових величин:

- похибка невідповідності істинного значення показника заломлення призми прийнятому при розрахунках n_2 :

$$\text{при } \Delta n_2 = 0,0044 \text{ маємо } \Delta n_1 = \frac{n_2 \cdot \sin(q)}{\sqrt{n_2^2 - (\sin(w))^2}} \cdot \Delta n_2 = 0.0044$$

- Неточність заломлюючого кута призми Δq :

$$\text{при } \Delta q = 0.5^\circ \text{ маємо } \Delta n_1 = \sqrt{n_2^2 - n_1^2} \cdot \Delta q = 0.126$$

- Наприкінці, кутомірна похибка Δw :

$$\text{при } \Delta w = 0.5^\circ \text{ маємо } \Delta n_1 = \frac{\cos(w) \cdot \sqrt{n_2^2 - n_1^2}}{\sqrt{n_2^2 - (\sin(w))^2}} \cdot \Delta w = 0.067$$

$$\sum \Delta n_1 = 0.0044 + 0.126 + 0.067 = 0.1974.$$

Результати розрахунку занести до таблиці 1.2

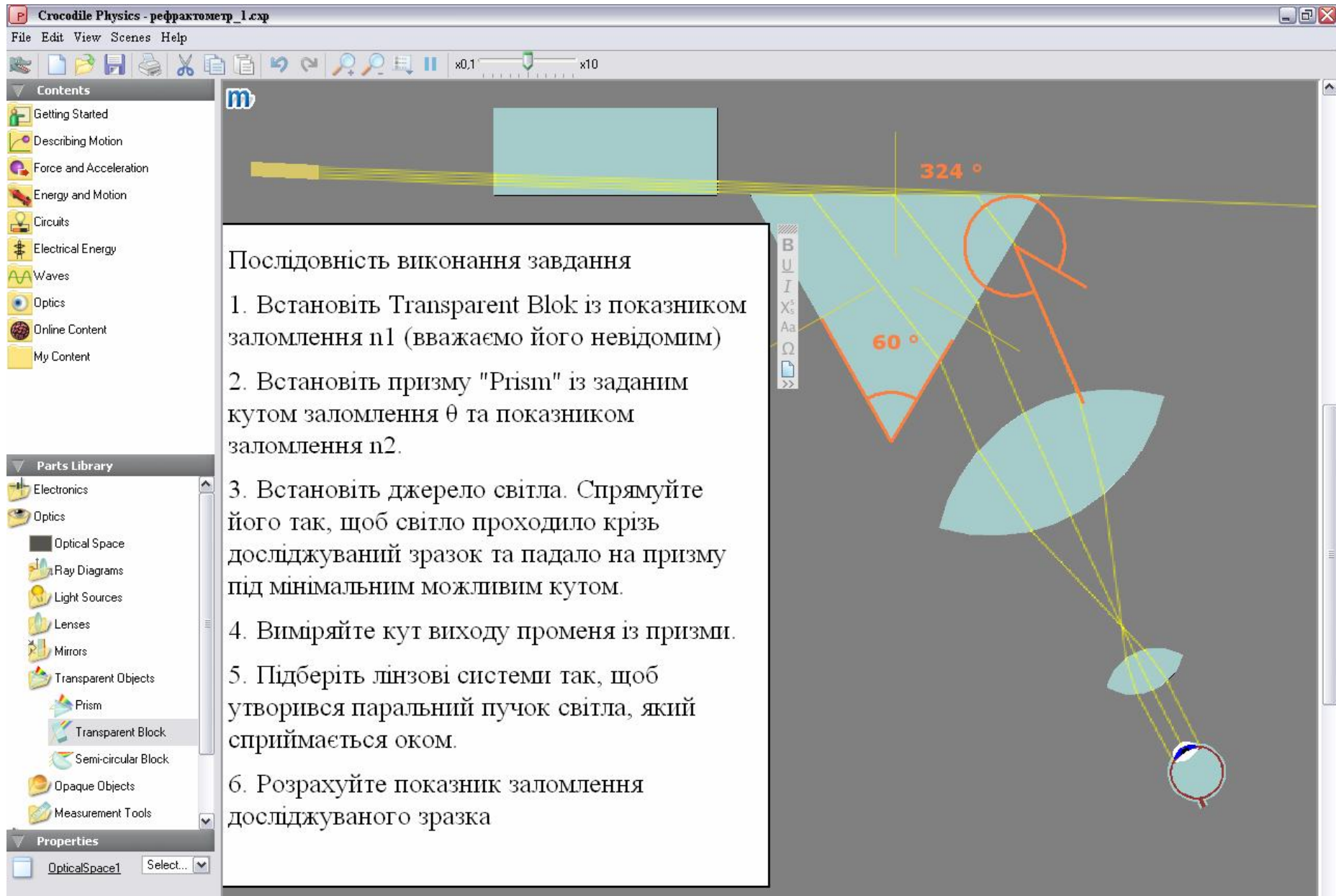


Рисунок 1.8 – Результати комп'ютерного моделювання оптичної схеми рефрактометра

Таблиця 1.2 - Результати комп'ютерного моделювання схеми рис.1.5

Вихідні дані для моделювання				Експериментальні та розрахункові результати			
варіант	кут при вершині Q рис.1.5	показник заломлення n_2^{*1}	показник заломлення n_1	кут відхилення w	показник заломлення	Гранично допустима абсолютна похибка моделювання $\sum \Delta n_1$	Абсолютна похибка Δn_1
приклад	60	Скло БФ24 1,6344	1,52	$w = 36^\circ$ $w = 324^\circ$	$n_1 = \text{Sin}(q) \cdot \sqrt{n_2^2 - (\text{Sin}(w))^2} + \text{Cos}(q) \cdot \text{Sin}(w) = 1.615$ $n_1 = \text{Sin}(q) \cdot \sqrt{n_2^2 - (\text{Sin}(w))^2} - \text{Cos}(q) \cdot \text{Sin}(w) = 1.615$	0,1974	$\Delta n_1 = 1.615 - 1.52 = 0.095$
1		ТК21					
2		СТК3					
3		СТК9					
4		БФ6					
5		БФ11					
6		БФ16					
7		ТБФ4					
8		Ф104					
9		ТФ103					
10		ТФ7					

*1 – додаток Д

*

5. Контрольні питання

1. Методи вимірювання показника заломлення за допомогою гоніометра. Принцип дії.
2. Умова виникнення граничного кута заломлення.
3. Умова виникнення граничного кута повного внутрішнього відбиття.
4. Абсолютний і відносний показник заломлення.
5. Принцип дії рефрактометра.
6. Області використання рефрактометрів.

6 Література

1. Попечителев Е.П. Аналитические исследования в медицине, биологии и экологии: Учеб. пособие для вузов / Е.П. Попечителев, О.Н. Старцева. – М.: Высш.шк., 2003. – 279 с.: ил.
2. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения: Учебник для вузов по специальности «Оптико-электронные приборы» и «Технология оптического приборостроения» /Под общ. Ред. Д.Т. Пуряева. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
3. Основные биохимические константы человека в норме и при патологии /Хмелевский Ю.В., Усатенко О.К. – К.: Здоров'я, 1987. – 160 с.
4. Справочник конструктора оптико- механических приборов./ В.А. Панов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др.; Под общ. Ред.. В.А.Панова, - Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1080. – 742с, ил.
5. Практикум по биофизике: Учебн. пособие для студ. Высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит .изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 352 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.2

СПЕКТРОФОТОМЕТР І ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ В МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Властивості атомів і молекул поглинати світло з характерною довжиною хвилі, характерною для даної речовини, широко використовуються в медицині і фармації для якісних досліджень. Вимірювання спектрів поглинання дозволяє судити про хімічний склад речовини і його стані в біологічних структурах. Для реєстрації спектрів поглинання використовуються прилади спектрофотометри.

1. Мета роботи:

1. Вивчити закони поглинання світла, як теоретичну основу спектрофотометрії.
2. Ознайомитися з принципами використання спектрофотометрії в біології, медицині і фармації.
3. Вивчити оптичні властивості дисперсійної спектральної призми.

2. Підготовка до роботи

Вивчити за методичними вказівкам наступні питання:

1. Спектри поглинання білків, нуклеїнових кислот, характерні довжини хвиль.
2. Закон Бугера-Ламберта-Бера і фізичний зміст всіх величин, які в нього входять.
3. Коефіцієнт пропускання речовини, оптична густина зразка. Зв'язок між цими величинами. Розмірність речовин, що входять до формули для коефіцієнту пропускання і оптичної густини.
4. Принципова схема спектрофотометра, призначення окремих блоків.
5. Оптична схема спектрофотометра, хід променів у ньому, способи зміни довжини хвилі, місце знаходження досліджуваного зразка.
6. Приклади використання абсорбційної спектрофотометрії в медицині і фармації .

3. Теоретичні відомості

3.1 Класифікація оптичних методів [1]

Методи аналізу, що засновані на поглинанні електромагнітного випромінення аналізуємою речовиною, складають досить велику групу абсорбційних оптичних методів. При поглинанні світла атоми і молекули речовини, що аналізується переходять у збуджений стан. В залежності від виду поглинаючих частинок і способу трансформації поглиненої енергії розрізняють:

- *Атомно-абсорбційний аналіз*, що заснований на поглинанні світлової енергії атомами речовини, що аналізується;

- **Молекулярний абсорбційний аналіз**, тобто аналіз поглинання світла молекулами речовини, що аналізується в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектру (спектрофотометрія, фотоколориметрія, ІЧ-спектроскопія);

- Аналіз поглинання і розсіювання світлової енергії зваженими частинками речовини, що аналізується (**турбідиметрія, нефелометрія**);

- **Люмінесцентний (флюорометричний) аналіз**, що заснований на вимірюванні випромінювання, що виникає в результаті виділення енергії збудженими молекулами аналізованої речовини

Фотоколориметрія і спектрофотометрія засновані на взаємодії випромінювання з однорідними системами, і їх об'єднують в групу **фотометричний методів аналізу**.

В залежності від використаної апаратури в фотометричному аналізі розрізняють:

- Спектрофотометричний метод – аналіз за поглинанням монохроматичного світла;

- Фотоколориметричний метод – аналіз за поглинанням поліхроматичного (немонохроматичного) світла в видимій області спектра.

Обидва методи засновані на пропорційній залежності між світлопоглинанням і концентрацією поглиненої речовини.

3.2 Основні закономірності світлопоглинання

Методи спектральної фотометрії [1, 3] складають найбільшу групу і засновані на реєстрації інтегрального або вибіркового поглинання випромінювання. Як було показано в раніше, інтенсивність випромінювання ослаблюється внаслідок поглинання, відбиття і розсіювання випромінювання.

Для оцінки ступеню зменшення випромінювання після взаємодії з речовиною вводять коефіцієнти:

- Дзеркального відбиття $r_{оз} = \frac{F_r}{F}$;

- Поглинання $a = \frac{F_a}{F}$;

- Розсіюваного (дифузного) відбиття $r_{диф} = \frac{F_r}{F}$;

- Розсіюваного (дифузного) пропускання $t_{диф} = \frac{F_t}{F}$;

- Спрямованого пропускання $t = \frac{F_t}{F}$.

Рідко виникають випадки, коли всі п'ять складових відіграють суттєву роль при опису взаємодії випромінювання з досліджуванним середовищем, а поглинання і розсіювання в більшості випадків селективне.

Спектрофотометричні методи дозволяють проводити оцінку степені ослаблення потоку випромінювання, який пройшов шар поглинаючої речовини

Ослаблення потоку монохроматичного випромінювання, що пройшло крізь шар речовини товщиною l , описується **законом Бугера-Ламберта-Бера**:

$$F_t = F \cdot e^{-k_l \cdot l} \quad (2.1)$$

де $k_l = C \cdot m_l$ – коефіцієнт поглинання (C – концентрація молекул поглиначка, моль/л; m_l – молекулярний коефіцієнт гасіння (екстракції), що залежить від властивості молекули поглиначка, л/(моль·см).

Якщо врахувати відбиття випромінювання на границях шару, то отримаємо:

$$F_t = (1 - r)^2 \cdot F \cdot e^{-k_l \cdot l} \quad (2.2)$$

де r – коефіцієнт відбиття.

В деяких випадках пропускання світла характеризується не коефіцієнтом пропускання, а **оптичною щільністю**:

3.4 Принципова схема спектрофотометра

Фотометри [1-3] – це прилади для вимірювання потоку випромінювання від середовищ, що випускають або поглинають випромінювання. Принципова схема фотометра складається із джерела випромінювання (ДЖ), фільтру або монохроматора (М), відділення для проби (кювета) (К) та фотоприймача (ФП).

В таблиці 2.1 показані основні можливості побудови спектральних фотометрів [2]. В однопроменевих фотометрах тіло порівняння та аналізуємо пробу розміщують на шляху випромінювання послідовно і вимірюють співвідношення обох потоків. Ці прилади прості за конструкцією і найпростіше за все можуть бути пристосовані до індивідуальних особливостей проби. Проте вони мають підвищені вимоги до стабільності джерела світла і приймача.

В двохпроменевих фотометрах тіло порівняння і аналізуємо проба постійно знаходяться в своєму потоці випромінювання. Для цих приладів потрібний роздільник потоків, а при використанні одного приймача потрібна схема модуляції для розділу сигналів і оптичний пристрій для з'єднання обох потоків. Двохпроменеві фотометри використовуються переважно для безперервного запису спектрів і для фотометричних вимірювань, що вимагають довготривалу стабільність. В двохпроменевих фотометрах з двома довжинами хвиль аналізуємо проба просвічується одночасно двома або більше хвилями різної довжини. В залежності від умов спектральний розклад проходить до або після проби. Цей метод дозволяє підвищити точність вимірювання і виключити вплив мутності та інших перешкоджаючих факторів при проведенні спеціальних вимірювань.

Таблиця 2.1 - Принципові схеми ходу променів в спектральних фотометрах [2]

Тип приладу	Схема ходу променів	Вимоги до вимірювальної апаратури		
		джерело світла	приймач	лінійність
1. однопроменеві фотометри: <ul style="list-style-type: none"> • пряме вимірювання • оптичне відновлення 		+	+	+
		+	+	-
2. Двохпроменеві фотометри з одним приймачем: <ul style="list-style-type: none"> • пряме вимірювання • оптичне відновлення • оптична компенсація 		-	-	+
		-	-	-
		-	-	-

<p>3. Двохпроменеві фотометри з двома приймачами:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пряме вимірювання • оптичне відновлення • оптична компенсація 		<p>-</p> <p>+</p> <p>-</p>	<p>=</p> <p>=</p> <p>-</p>	<p>+</p> <p>-</p> <p>+</p>
<p>4. Двохпроменевий фотометр з двома довжинами хвиль:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пряме вимірювання 		<p>-</p>	<p>-</p>	<p>+</p>
<p>ДЖ - джерело світла; М – фільтр або монохроматор; П – приймач випромінювання, ОО – оптичний ослаблювач. + необхідно; 0 – не потрібно; = - ідентичні</p>				

Джерела випромінювання [4]. Першим компонентом фотометра є джерело випромінювання. Загальними вимогами до всіх джерел випромінювання є висока інтенсивність і стабільність випромінювання. В таблиці наведені найбільш розповсюджені джерела випромінювання, що використовуються в окремих діапазонах оптичної спектроскопії. Джерелом особливо високої інтенсивності, з вузьким світловим потоком (частки мкм), високою монохроматичністю (0,01 нм) і когерентністю випромінювання є лазери.

Таблиця 2.2 – Джерела випромінювання для оптичної спектроскопії [4]

Область спектру	Джерело випромінювання
<i>неперервний спектр</i>	
вакуумна УФ область	агронові, ксенонові лампи
УФ область	ксенонові, водородні, дейтерієві лампи
видима область	вольфрамові, галогенні лампи
ближня ІЧ область	вольфрамові лампи, штифти Ернста, ніхромові випромінювачі, глобари
ІЧ область	штифти Ернста ($ZrO_2+Y_2O_3$), ніхромові випромінювачі ($Ni+Cr$), глобари (SiC)
<i>смугастий спектр</i>	
УФ – видима область	світлодіоди
<i>лінійчатий спектр</i>	
УФ – видима область	лампи з пустотілим катодом, безелектродні розрядні лампи

Спектральне розкладання [4]. У спектроскопічному аналізі, як правило, намагаються працювати з монохроматичним або, принаймні, як можна більше вузькосмуговим випромінюванням. Використання монохроматичного випромінювання в якості джерела випромінювання іноді буває необхідною умовою одержання лінійних залежностей «концентрація – сигнал» у широкому динамічному діапазоні.

Для виділення вузькосмугових світлових потоків використовують світлофільтри або монохроматори.

Світлофільтри. Світлофільтри слугують для виключення окремих спектральних ліній із загального спектру випромінювання смугових випромінювачів або для виділення якої-небудь області із неперервного спектру. Їх доцільно використовувати там, де не пред'являються особливо вимоги до спектральної чистоти, а необхідна висока інтенсивність світла.

Світлофільтри діляться на *абсорбційні* й *інтерференційні*. Вони розрізняються з погляду ступеня пропускання (інтенсивності світла, що пройшло) і спектральної ширини пропускання. З рис. 2.1 можна оцінити порівняльні можливості обох типів світлофільтрів у видимій області спектра.

Ефективна спектральна ширина пропускання типового інтерференційного світлофільтра становить близько 10 нм, а абсорбційного - близько 50 нм.

Абсорбційні світлофільтри, крім більшої спектральної ширини, зазвичай мають і значно менший ступінь пропускання в порівнянні з інтерференційними.

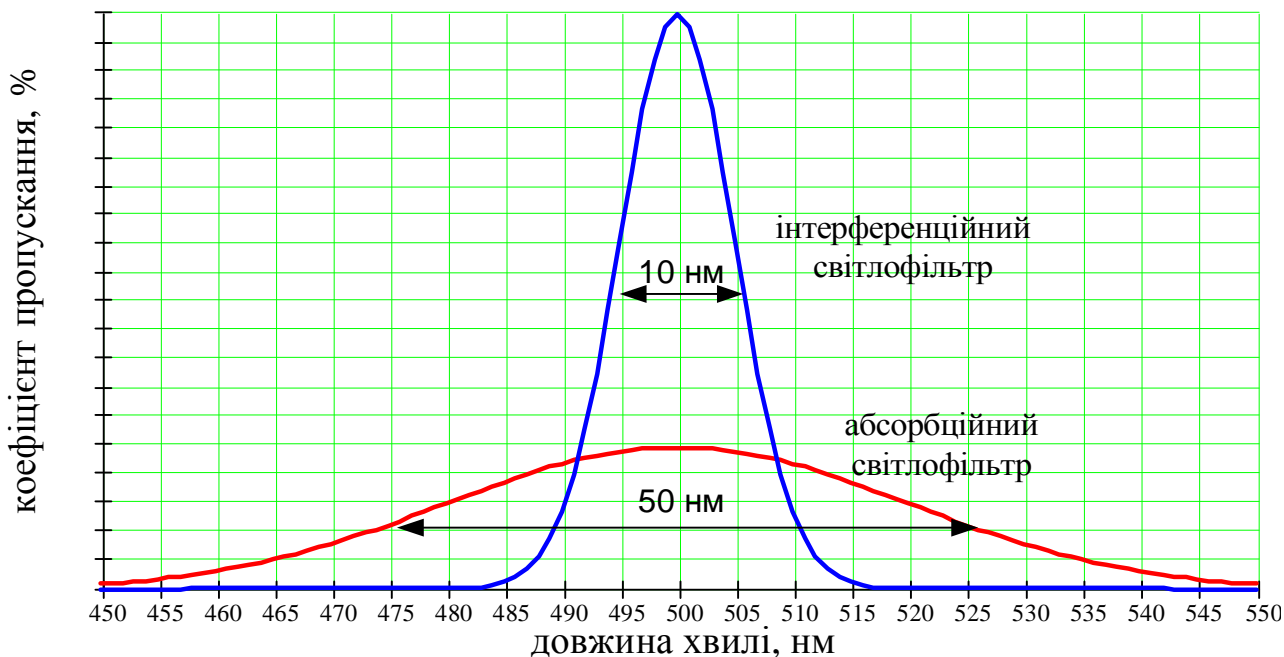


Рисунок 2.1 - Ступінь пропускання й ефективна спектральна ширина інтерференційного й абсорбційного світлофільтра [4]

Для вирішення багатьох практичних завдань спектроскопії світлофільтри застосовуються дотепер, незважаючи на їх істотно менші можливості в порівнянні з монохроматорами. Вони відносно недорогі й дуже зручні у використанні в спеціалізованій і мініатюризованій апаратурі.

Монохроматори. Пристрої, в яких через декілька вихідних щілин пропускають лише невелику спектральну смугу, називають *монохроматором*. Вони є суттєвою складовою частиною спектральних фотометрів і слугують для виділення вузьких спектральних смуг із емісійного спектру неперервного випромінювача або для розділу близьких ліній лінійчатого спектру, які не можуть бути розділені фільтрами.

Монохроматори складаються з наступних частин:

- вхідна щілина, що вирізає вузький прямокутний пучок з падаючого світлового потоку;
- система лінз або ввігнутих дзеркал для одержання паралельного світлового потоку;
- диспергуючий елемент - призма або дифракційні ґрати;
- фокусуєчий пристрій для фокусування потоку на вихідній щілині;
- вихідна щілина, що вирізає з вихідного світлового потоку пучок променів бажаної спектральної ширини.

Часто в монохроматорах використовують і допоміжні світлофільтри для відсікання паразитних світлових потоків, що приходять із навколишнього середовища. Типова схеми призмового монохроматора була розглянута раніше. Типова схема решіточного монохроматора наведена на рис. 2.2.

У монохроматорі будь-якої конструкції світловий потік попадає спочатку на вхідну щілину. Потім його перетворюють у паралельний за допомогою

системи лінз (у призмових монохроматорах, рис.2.2 а) або ввігнутих дзеркал (у решітчастих, рис.2.2 б).

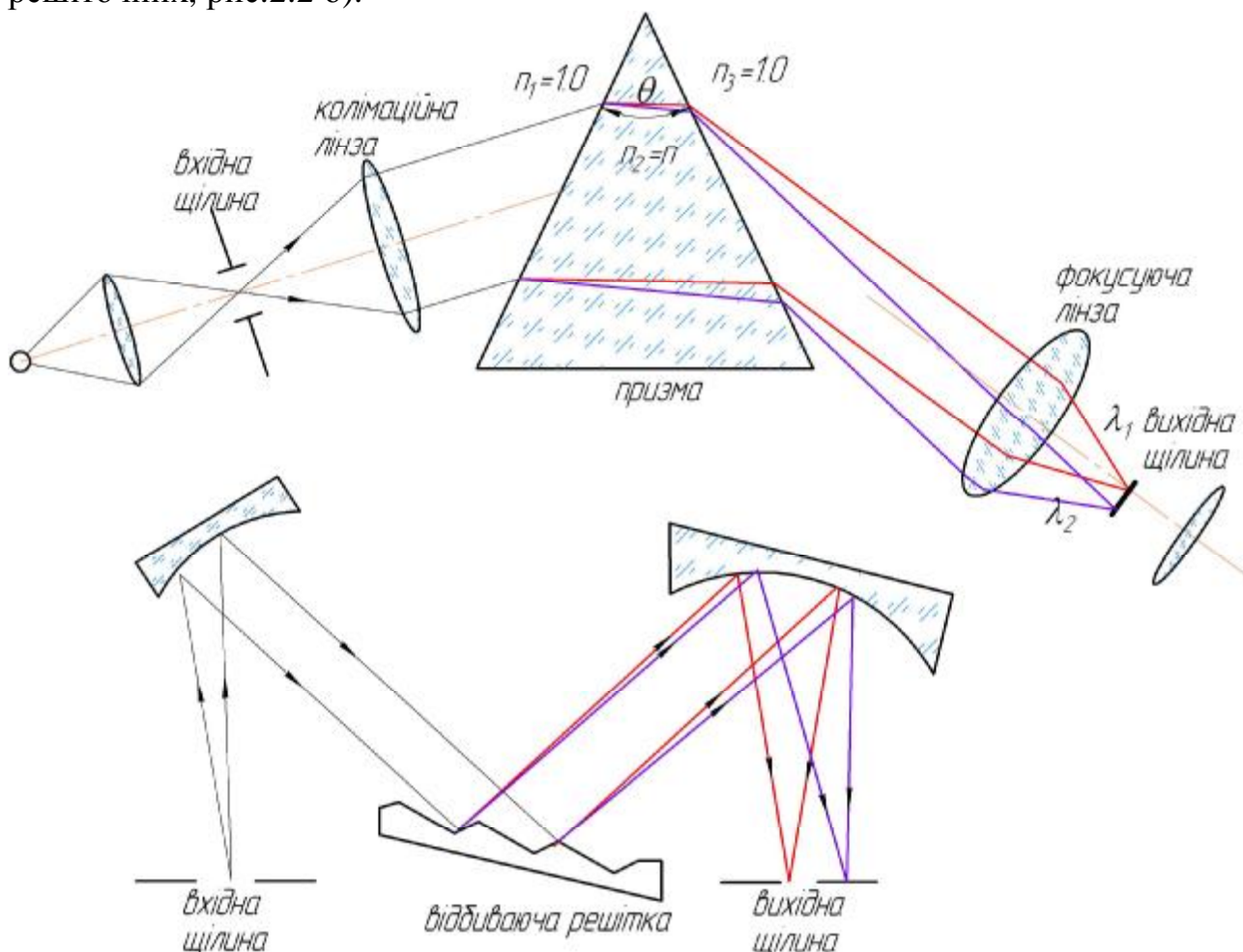


Рисунок 2.2 - а) Схеми монохроматорів на основі призми (монохроматор Бунзена); б) на основі відбиваючих дифракційних ґрат (Черни-Тернера) [4]

Раніше основним типом диспергуючим елементів монохроматорів були призми. Зараз більшість спектрометрів оснащені решітчастими монохроматорами, причому відбивні дифракційні ґрати переважають над прозорими (працюючими на пропускання).

Після виходу з диспергуючого пристрою промені різних довжин хвиль (на рис.2.2 зображені промені двох довжин хвиль) фокусують у фокальній площині за допомогою лінз або дзеркал. Вихідна щілина, що перебуває у фокальній площині, вирізає світловий потік малої спектральної ширини, довжина хвилі якого визначається положенням диспергуючого елемента.

Диспергуюча призма

Диспергуюча призма є основним елементом призмового спектрального приладу. Як було показано в попередніх розділах, кут заломлення пучка променів на першій грані призми, а також кут його відхилення від початкового напрямку залежить від показника заломлення матеріалу призми рис.2.3.

Заломлююча здатність оптичного матеріалу характеризується в основному трьома величинами:

- показником заломлення n_D для жовтої лінії натрію ($I_D = 589.3 \text{ нм}$);

- середньою дисперсією $dn = n_F - n_C$,

де n_F, n_C - показники заломлення для блакитної та червоної лінії водню ($I_F = 486.1 \text{ нм}, I_C = 656,3 \text{ нм}$);

- коефіцієнтом середньої дисперсії, або числом Аббе: $n_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$.

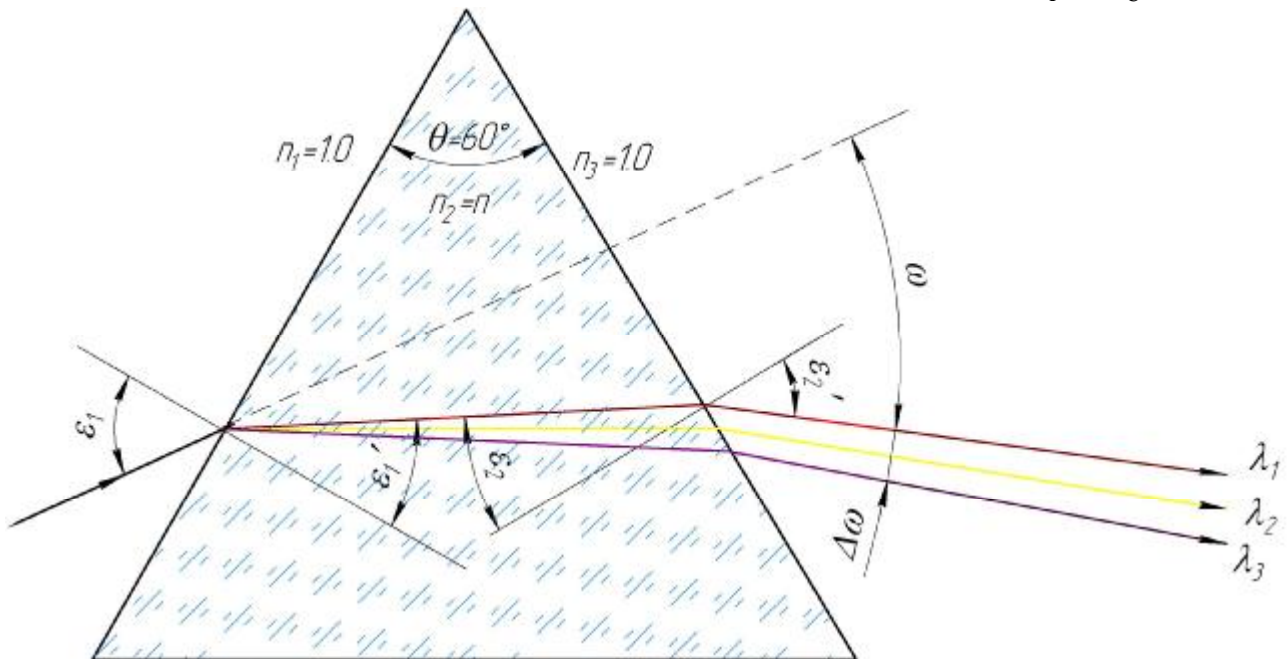


Рисунок 2.3 - Схема заломлення променів в спектральній призмі

Для повної характеристики оптичного матеріалу визначаються показники заломлення для довжин хвиль всього оптичного діапазону.

Залежність кута відхилення від довжини хвилі називається **кутовою дисперсією** і визначається за формулою [5]:

$$b = \frac{dw}{dl} = \frac{2 \cdot \sin(q/2)}{\sqrt{1 - n^2 \cdot (\sin(q/2))^2}} \cdot \frac{dn}{dl} \quad (2.3)$$

Кутову дисперсію можна збільшити збільшенням заломлюючого кута призми, збільшенням числа призм і вибором матеріалу призм з великим значенням $\frac{dn}{dl}$. Очевидно, що заломлюючий кут призми не може бути безмежно

великим, так як повинна виконуватися умова: $\sin(\frac{q}{2}) < \frac{1}{n}$, в протилежному випадку спостерігається повне внутрішнє відбиття на другій грані призми.

Кутова ширина спектру може бути з достатньою точністю визначена за формулою:

$$\Delta w = \frac{2 \cdot \sin(\vartheta/2)}{\sqrt{1 - n_{cp}^2 \cdot (\sin(\vartheta/2))^2}} \cdot \Delta n \quad (2.4)$$

$$\text{де } n_{cp} = \frac{n_1 + n_2}{2}, \Delta n = n_1 - n_2.$$

Для визначення значення показника заломлення різних матеріалів в залежності від довжини хвилі використовують таблиці [5].

Дифракційні ґрати дешевше призм. У порівнянні із призмами рівного розміру вони мають кращий спектральний дозвіл, а дисперсія випромінювання однакова у всьому діапазоні довжин хвиль. У той же час *призми* мають більшу світлосилу. Показник заломлення матеріалу призми нелінійно залежить від довжини хвилі. Внаслідок цього дисперсія призм неоднакова в різних спектральних областях. В області коротких хвиль вона вище, ніж в області довгих. Для кварцових призм дисперсія у видимій області нижче, ніж для скляних. Для будь-якого оптичного матеріалу найвища дисперсія (а, отже, і дозвільна здатність) досягається поблизу краю смуги поглинання.

Традиційно дифракційні ґрати виготовляють механічним способом, шляхом процарапування борозни на поверхні полірованого твердого матеріалу алмазною голкою. Отримані таким досить трудомістким способом оригінали потім тиражують за допомогою спеціальних пристроїв. Відбиваючі ґрати для роботи в УФ - і видимій областях містять до 1200 штрихів на міліметр. Ґрати для роботи в ІЧ - області мають 100-200 штрихів на міліметр. Для забезпечення особливо високої дозвільної здатності (що необхідно, наприклад, в атомно-абсорбційній спектроскопії) потрібні ґрати із ще більшим числом штрихів на міліметр.

Можливість розділу окремих спектральних смуг залежить від *дисперсії монохроматора*. В якості характеристики дисперсії використовують лінійну дисперсію.

Дозвільна здатність характеризує можливість роздільного спостереження двох спектральних ліній, що близькі за довжинами хвиль.

Спектральна дозвільна здатність $R = \frac{l}{\Delta l}$, де λ - середня довжина хвилі двох ліній; $\Delta \lambda$ - різниця їх довжин хвиль

Ємкості для проб і оптичні матеріали. В оптичних спектральних фотометрах проби розміщують в спеціальні ємкості. Для рідких проб використовують кювети, що виготовлені із кварцю (для дослідження в УФ – області), скла (для видимої і ближньої ІЧ – області) або солі – NaCl, KBr (для ІЧ – області спектру). Із цих же матеріалів виготовляють призми, лінзи і оптичні віконця.

Приймачі випромінювання [4]. Для детектування випромінювання в оптичній області використовують приймачі, принцип дії яких засновано на фотоелектричних або термоелектричних явищах.

Явище внутрішнього фотоелектричного ефекту лежить в основі дії лічильників фотонів таких, як фотоелементи та фотоелектронні множники.

Фотоприймачами на основі внутрішнього фотоелектричного ефекту є напівпровідниковий фотоелемент та фотодіод.

Вибір приймачів виконується по спектральній чутливості, по стабільності фотоструму, по пропорційності фотоструму освітленості, по відношенню сигнал/шум, по величині і стабільності необхідного джерела живлення і т.д.

Обробка результатів вимірювання. Первинною величиною вимірюваною фотометрами є степінь пропускання $t = \frac{F_t}{F}$, виражена у відсотках, або у вигляді оптичної щільності $D_l = \lg\left(\frac{1}{t_l}\right) = \lg\left(\frac{F}{F_t}\right) = C \cdot m_l \cdot l$.

4. Виконання роботи

Завдання 1. Визначити заломлюючі характеристики матеріалу призми, її кутову дисперсію та дозвільну силу за допомогою гоніометра. Виконати моделювання оптичної схеми за допомогою програми Optics.

1. Підготувати гоніометр до роботи*¹.
2. Вимірювання заломлюючого кута*¹.
3. Вимірювання кута відхилення*¹:

- виконати вимірювання кута відхилення при освітленні натрієвою лампою;
- замінити натрієве джерело світла на водневу трубку, і виконати необхідні операції для всіх видимих ліній водневого спектру, зняти для них відліки.

4. Виконати моделювання оптичної схеми рис.1.1*¹.

5. Розрахувати для кожної лінії значення найменшого кута відхилення, що дорівнює різниці відповідних відліків $w = b_2 - b_1$. Розрахувати за формулою

$$n = \frac{\sin\left(\frac{q+w}{2}\right)}{\sin\left(\frac{q}{2}\right)}$$

показники заломлення для всіх ліній водневого спектру та

жовтої лінії натрію. Результати розрахунку занести до таблиці 2.4. За отриманими даними побудувати графік залежності $n = f(I)$.

6. Розрахувати середню дисперсію $dn = n_F - n_C$ та коефіцієнт середньої дисперсії $n_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ призми. Результати розрахунку занести до таблиці 2.4.

7. Використовуючи графік залежності $n = f(\lambda)$ та формулу (2.3) визначити значення кутової дисперсії для червоної та синьої областей спектру.

8. Визначити теоретичне значення показника заломлення для заданого матеріалу. Визначаємо приріст показника заломлення між спектральними лініями:

- за табл. додаток Д маємо, для матеріалу ТФ5 $n_F - n_C = 0.02743$.
- Тоді приріст показника заломлення $\Delta n = \frac{n_F - n_C}{4} = 0.00685$, ділимо на 4, оскільки в межах між F і C спектральними лініями знаходяться ще три лінії D, d e, тому маємо 4 діапазони.
- Результати розрахунку для всіх спектральних ліній зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок показника заломлення для матеріалу ТФ5

Позначення лінії Фраунгофера	Довжина хвилі λ , нм	Показник заломлення	Колір
A'	766,5	$n_{A'} = n_D - 2 \cdot \Delta n = 1.755 - 2 \cdot 0.00685 = 1.7413$	темно-червоний
C	656,3	$n_C = n_D - \Delta n = 1.755 - 0.00685 = 1.7481$	червоний
D	589,3	1,755	жовтий
d	587,6	$n_d = n_D - \Delta n = 1.755 - 0.00685 = 1.761$	
e	546,1	$n_e = n_D + 2 \cdot \Delta n = 1.755 + 2 \cdot 0.00685 = 1.7687$	зелений
F	486,1	$n_F = n_D + 3 \cdot \Delta n = 1.755 + 3 \cdot 0.00685 = 1.7755$	синій
G'	434,1	$n_{G'} = n_D + 4 \cdot \Delta n = 1.755 + 4 \cdot 0.00685 = 1.7824$	фіолетовий
h	404,7	$n_h = n_D + 5 \cdot \Delta n = 1.755 + 5 \cdot 0.00685 = 1.7892$	
H	396,8	$n_H = n_D + 6 \cdot \Delta n = 1.755 + 6 \cdot 0.00685 = 1.7961$	темно-фіолетовий

Примітка *1 – див. лабораторна робота №1.1 «ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО СКЛА».

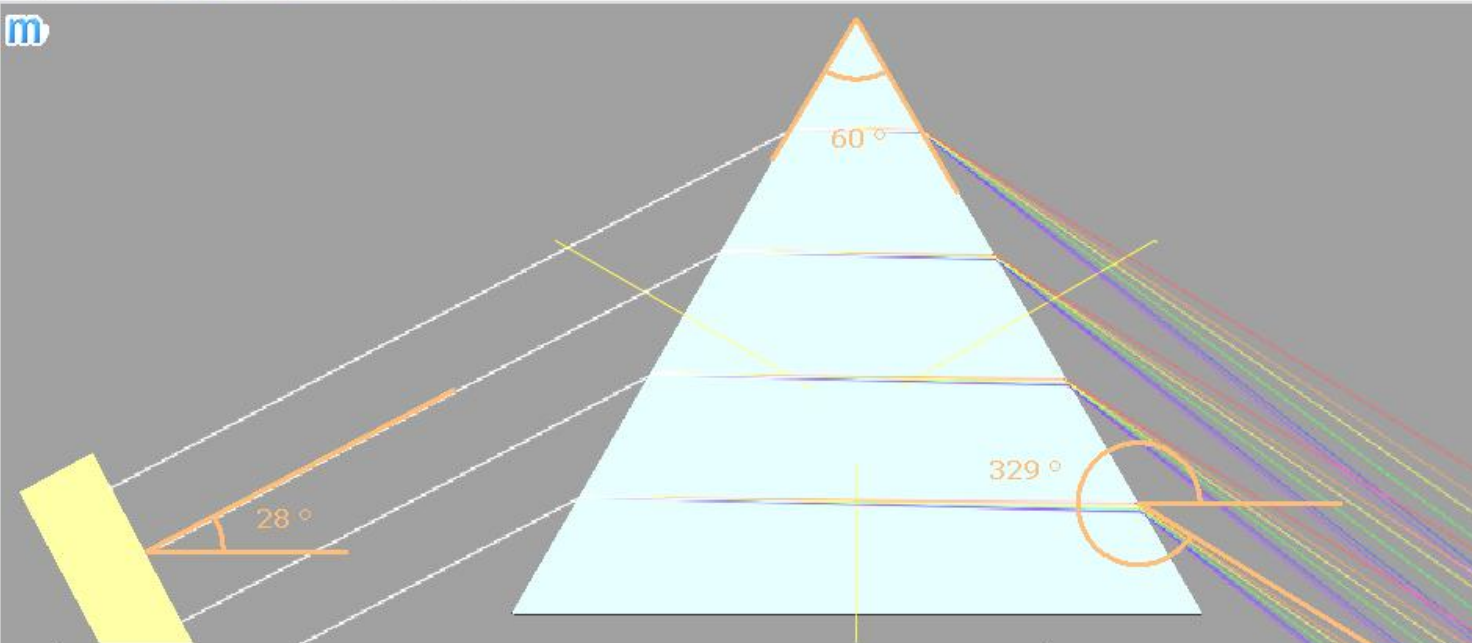
Contents

- Waves
- Optics
 - Angles of reflection
 - Convex and concave mirrors
 - Refraction
 - Camera
 - Lenses
 - Magnifying glass
 - Magnification
 - Mirrors and reflection
 - Periscopes
 - Telescope (simple)
 - Other Examples

Parts Library

- Motion & Forces
- Waves
- Presentation
 - Measurement Tools
 - Ruler
 - Protractor
 - Marker
 - Graph
 - Text
 - Instructions
 - Picture
 - Animation
 - Button

Properties



- Послідовність виконання завдання
1. Встановити призму з заданим кутом при вершині θ .
 2. Встановити джерело світла
 - спрямувати паралельний пучок світла на призму таким чином, щоб промені всередині призми проходили паралельно до основи призми
 - виміряти кут падіння променів на призму
 - виміряти кут виходу променів із призми
 - розрахувати кут відхилення
 3. Виконати п. 2 для всіх можливих довжин світла

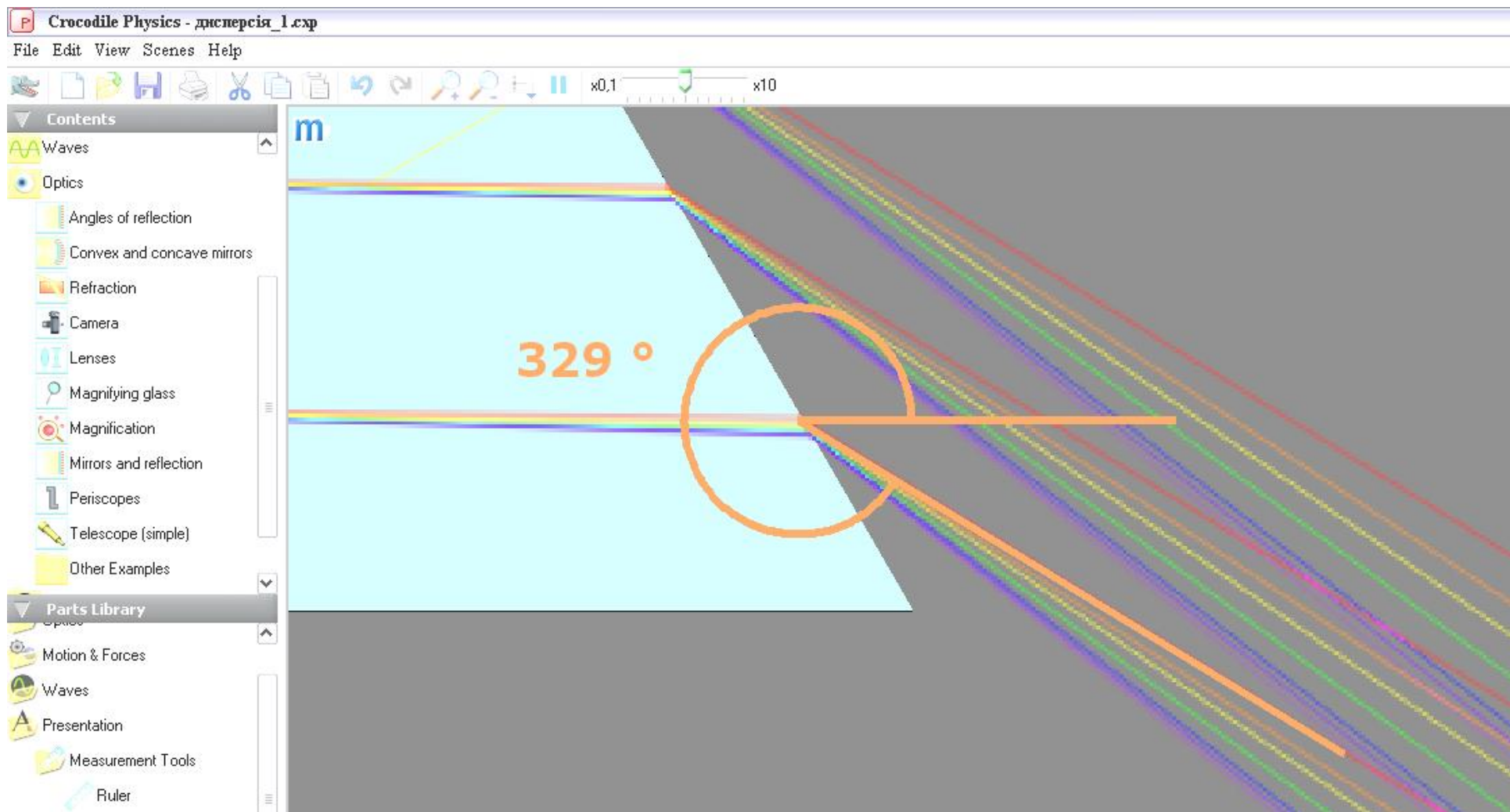


Рисунок 2.4 – Результат виконання комп'ютерного моделювання

5. Контрольні питання

1. Які методи аналізу відносяться до абсорбційно оптичних?
2. Чим зумовлено вибіркове поглинання світла молекулами?
3. Які методи і на основі чого виділяють в фотометричному аналізу?
4. Дайте визначення наступних понять: пропускання, коефіцієнт пропускання, оптична щільність, молярний коефіцієнт світлопоглинання.
5. Дайте формулювання закону Бугера-Ламберта-Бера.
6. Чому дорівнює оптична щільність розчину при виконанні основного закону світло поглинання?
7. Що таке спектр поглинання речовини?
8. На чому засновано визначення концентрації розчинів за допомогою фотометричних методів аналізу?

6 Література

1. Попечителев Е.П. Аналитические исследования в медицине, биологии и экологии: Учеб. пособие для вузов / Е.П. Попечителев, О.Н. Старцева. – М.: Высш. шк., 2003. – 279 с.: ил.
2. Измерение в промышленности: Справ. изд. в 3-х кн.. Кн. 3. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
3. Практикум по биофизике: Учебн. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 352 с.
4. Отто М. Современные методы аналитической химии (в 2 т.). Том I. – М.: Техносфера, 2003. – 416 с.
5. Справочник конструктора оптико-механических приборов./ В.А. Панов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др.; Под общ. ред.. В.А. Панова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1980. – 742 с, ил.

Лабораторна робота № 2.3

ВИКОРИСТАННЯ ПОЛЯРИМЕТРІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОПТИЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Оптичною активністю називається обертання площини поляризації світла при проходженні крізь оптично активні речовини. До таких відносяться вуглеводи, амінокислоти, білки, антибіотики, деякі лікарські речовини. Метод дослідження речовини, оснований на використанні явища обертання площини поляризації світла називається поляриметрією. Поляриметрія широко застосовується в медицині, біофізиці і фармації для знаходження концентрації оптично активних речовин у розчині, для визначення чистоти ліків, для вивчення перетворень біополімерів.

1. Мета роботи

1. Вивчити явище поляризації світла і оптичної активності.
2. Вивчити будову поляриметра і навчитися користуватися ним.
3. Набути навичок в визначенні концентрації оптично активних речовин за допомогою поляриметра.

2. Підготовка до роботи

Вивчити по методичним вказівкам наступні питання:

1. Світло як електромагнітна хвиля. Вектора швидкості поширення хвилі c , напруженості електричного поля E , напруженості магнітного поля H . Їх взаємна орієнтація в плоскій хвилі.
2. Світло природне і поляризоване.
3. Отримання поляризованого світла.
4. Обертання площини поляризації асиметричними молекулами. Оптично активні речовини. Право - і лівообертаючі речовини.
5. Закон Малюса. Його фізичний зміст.
6. Формула для кута повороту площини оптично активною речовиною. Фізичний зміст всіх величин і одиниць вимірювання.
7. Схеми поляриметра, основні частини та їх призначення.
8. Застосування поляриметрії в медицині, біофізиці і фармації.

3. Теоретичні відомості

3.1 Основи поляриметрії

Випромінювання, в якому коливання вектора E відбувається лише в одному напрямку називається **поляризованим**.

Процес поляризації представляє собою впорядкування світлових коливань, їх виділення в деякій площині або переведення в інший стан, деяким чином орієнтований.

В електромагнітній хвилі вектори \vec{E} і \vec{B} перпендикулярні один до одного і лежать в площині, що перпендикулярна напрямку розповсюдження хвилі (рис. 3.1). У всіх процесах взаємодії світла з речовиною основну роль відіграє електричний вектор \vec{E} тому його називають **світловим вектором**. Якщо при розповсюдженні електромагнітної хвилі світловий вектор зберігає свою орієнтацію, то таку хвилю називають **лінійно-поляризованою** або **плоскополяризованою**. Площина, в якій коливається світловий вектор \vec{E} , називається **площиною коливання** (площина yz на рис. 3.1), а площина, в якій здійснює коливання магнітний вектор \vec{B} - **площиною поляризації** (площина xz на рис. 3.1).

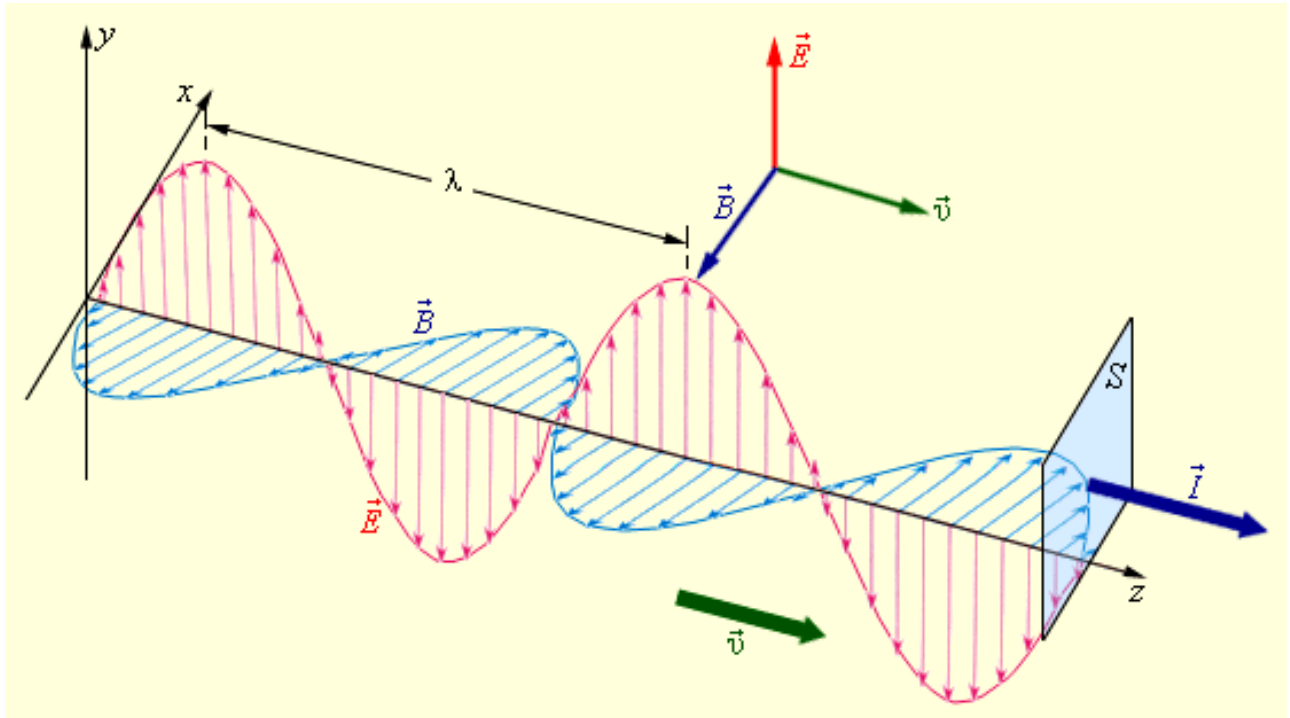


Рисунок 3.1 – Синусоїдальна (гармонічна) електромагнітна хвиля. Вектори \vec{E} , \vec{B} і \vec{v} взаємно перпендикулярні

Якщо вздовж одного і того ж напрямку розповсюджуються дві монохроматичні хвилі, поляризовані в двох взаємно перпендикулярних площинах, то в результаті їх додавання в загальному випадку виникає електрично-поляризована хвиля.

Розрізняють лінійну, кругову і електричну поляризацію.

Явище поляризації можна спостерігати тільки в анізотропних середовищах. До анізотропних середовищ відносять різноманітні кристали: ісландського шпата, турмаліна, герпатита та інші.

При проходженні плоскополяризованого світла крізь деякі речовини спостерігається обертання площини поляризації. Такі речовини називають **оптично активними**.

Якщо на кристал кварцу, що вирізаний перпендикулярно до оптичної осі, спрямувати плоскополяризовані промені так, щоб вони проходили вздовж оптичної осі кристалу, то їх площина поляризації повертається.

Пояснення цьому явищу дав Френель, який припустив, що плоскополяризований пучок променів в кварці розпадається на два пучки, що поляризовані по колу в протилежних напрямках і розповсюджуються з різними швидкостями. При виході із кристалу промені залишаються поляризованими по колу, але при їх додаванні отримується знову плоскополяризований пучок, який повернутий відносно початкового напрямку поляризації.

Різниця фаз між променями пов'язана з кутом повороту площини поляризації співвідношенням [3] $d = 2 \cdot \gamma$, тоді:

$$\gamma = \frac{\rho}{l} \cdot l \cdot (n_2 - n_1) \quad (3.1)$$

де l – товщина кристалу;

n_2, n_1 - показники заломлення відповідно лівообертальних і правообертальних променів $n_2 - n_1 = 0.0000065$.

Оберт площини поляризації променів, що викликано пластинкою кристалу товщиною в 1 мм, називається **питомим обертанням**.

Величина питомого обертання залежить від довжини хвилі падаючих променів і температури кристалу.

Питоме обертання кварцу при температурі 20°С для променів:

$$l = 656,3 \text{ нм} \rightarrow \gamma = 17,32^\circ$$

$$l = 589,3 \text{ нм} \rightarrow \gamma = 21,724^\circ$$

$$l = 486,1 \text{ нм} \rightarrow \gamma = 32,761^\circ$$

$$l = 434 \text{ нм} \rightarrow \gamma = 41,924^\circ$$

Оптично активними (як правообертаючі, так і лівообертаючі) є також некристалічні речовини, наприклад, скіпідар, водяні розчини цукру, солі виннокам'яної кислоти, нікотин та інші.

Для розчину оптично активної речовини кут поляризації площини поляризації складає:

$$\gamma = [\alpha] \cdot C \cdot L \quad (3.2)$$

де ψ - кут обертання площини поляризації оптично активною речовиною (в градусах чи радіанах);

$[\alpha]$ – питоме обертання;

L – довжина шляху хвилі в оптично активній речовині (довжина кювети);

C – концентрація оптично активної речовини.

Величина $[\alpha]$ залежить від природи речовини, температури, а також від частоти електромагнітних хвиль (довжини світлової хвилі).

Залежність $[\varphi_0]$ від довжини хвилі λ називається **дисперсією оптичного обертання** (обертальною дисперсією) визначається законом Біо: $[j_0] \approx \frac{1}{l^2}$.

Одні речовини обертають площину поляризації за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на зустріч променю, що виходить з розчину, їх називають **правообертаючими**, інші проти годинникової стрілки – їх називають **лівообертаючими**. Відповідно і значення $[\varphi_0]$ можуть бути різних знаків
таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Питоме обертання речовин

<i>Речовини</i>		<i>питоме обертання [j₀], град/((г/100 мл) дм)</i>
Правообертаючі	d-глюкоза	52,5
	сахароза	66,5
Лівообертаючі	d-фруктоза	-92,2

Завдяки співвідношенню (3.2) концентрація розчину може бути визначена за кутом повороту площини поляризації.

Використання поляриметрії в медичних і біофізичних дослідженнях [1]

1. Вимірювання концентрації цукру в розчинах.
2. Вимірювання степеня спіральності білків.
3. Дослідження переходів спіраль-клубок в біополімерах.
4. Контроль денатурації і регенерації біополімерів під впливом температури і різних хімічних речовин.

3.2 Схема поляриметра, основні частини, їх призначення

Поляриметричні методи використовують не тільки для визначення концентрації, а й для вивчення структури біологічних об'єктів. Для проведення поляриметричних досліджень використовують прилади, що називаються поляриметрами (сахариметрами).

Поляриметр круговий СМ-3 призначений для вимірювання кута повороту площини оптично активними прозорими речовинами. В його склад рис.3.2 входять: S - джерело світла, Р – поляризатор (призма Ніколя), П – напівтіньова пластинка, Т – камера для трубок з розчином цукру, К – кварцовий компенсатор, А – аналізатор (призма Ніколя). Поляриметр має окуляр для спостереження поля зору і окуляр для спостереження відлікової шкали.

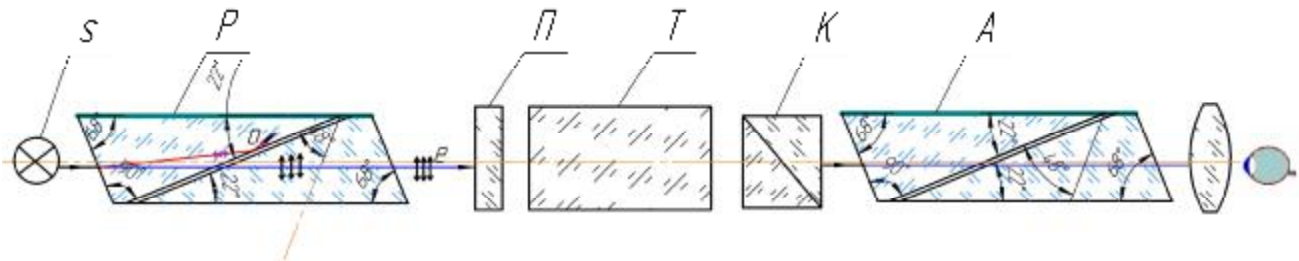


Рисунок 3.2 – Структурна схема напівтіньового поляриметра

Для підвищення точності встановлення аналізатора на темноту в поляриметрі використовується напівтіньовий пристрій, за допомогою якого виконується встановлення на рівність освітленості двох половинок поля зору.

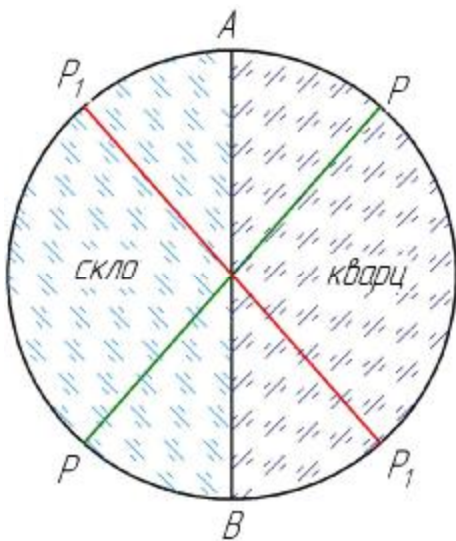


Рисунок 3.3 – Напівтіньова пластинка

Напівтіньова пластинка рис.3.3 складається із двох половинок: скляної С та кварцової К; АВ – границя розділу скла та кварцу.

Нехай на пластинку падає монохроматичне лінійно поляризоване світло з площиною коливання РР. Крізь скляну пластинку світло проходить, не змінюючи площини коливання, а крізь кварцову пластинку вийде світло з новою площиною коливання P_1P_1 (кварц – оптично – активна речовина).

Якщо потім пропустити обидва променя крізь аналізатор, у якого площина коливання, наприклад співпадає з площиною, перпендикулярною РР, то промінь лівої половини поля зору С буде погашений і поле зору цієї половини буде темним, тоді як частина світла правої половинки буде пропущена аналізатором і поле цієї половини буде світлим. Якщо площина коливання аналізатора перпендикулярна P_1P_1 , то буде зворотне явище. В середньому положенні аналізатора, при якому обидві половини поля зору будуть однаково освітлені, отримаємо «нульову точку». Розчин цукру розміщується між напівтіньовою пластинкою із кварцу – скла і аналізатором, який попередньо встановлений на нульову точку. Кут, на який необхідно повернути аналізатор, щоб досягти рівної освітленості, дорівнює куту обертання площини поляризації.

При використанні джерела білого світла вводять спеціальне пристосування – кварцовий компенсатор. Він складається із двох клинців, виготовлених із лівообертального кварцу. Один клин K_1 – нерухомий, другий K_2 – рухомий. Переміщуючи K_2 відносно K_1 , можна змінити величину лівого обертання площини поляризації, що дають клинці K_1 та K_2 . Оскільки розчин цукру обертає

площину поляризації вправо (за годинниковою стрілкою), то це обертання компенсується лівим обертанням кварцового компенсатора.

Рухомий клин K_2 кварцового компенсатора переміщується разом із шкалою. Лінійне переміщення клина пропорційне куту обертання площини поляризації, тому шкала приладу проградуєвана в кутових одиницях. Для більш точного відліку шкала має ноніус.

3.3 Технічні поляриметри [3, 5]

Для практичного використання розроблені різноманітні прилади, які задовольняють вимогам точності, способу роботи і індикації результатів табл. 3.2 [5].

Автоматичні промислові поляриметри є новою гілкою поляриметрії; вони повинні відповідати самим високим вимогам надійності, тривалості стабільності, стійкості до кліматичних умов. Специфічна і висока чутливість до оптично активних компонентів в будь-якому поєднанні з оптично неактивними компонентами робить промислові поляриметри ідеальними датчиками для контролю за протіканням технологічного процесу, наприклад в фармацевтичній промисловості або в виробництві цукру. Зазвичай, представляє інтерес частка оптично активних речовин в багатокомпонентних розчинах, тому автоматичні системи промислового контролю і управління містять поляриметри в поєднанні з іншими вимірювальними приладами.

Круговий поляриметр «СМ» [3]. Дозволяє визначити кути повороту площини поляризації в ефірних оліях, камфорних розчинах та інших оптично активних речовинах. Освітлювач приладу можна зміщувати для встановлення тілу накалювання на оптичній вісі.

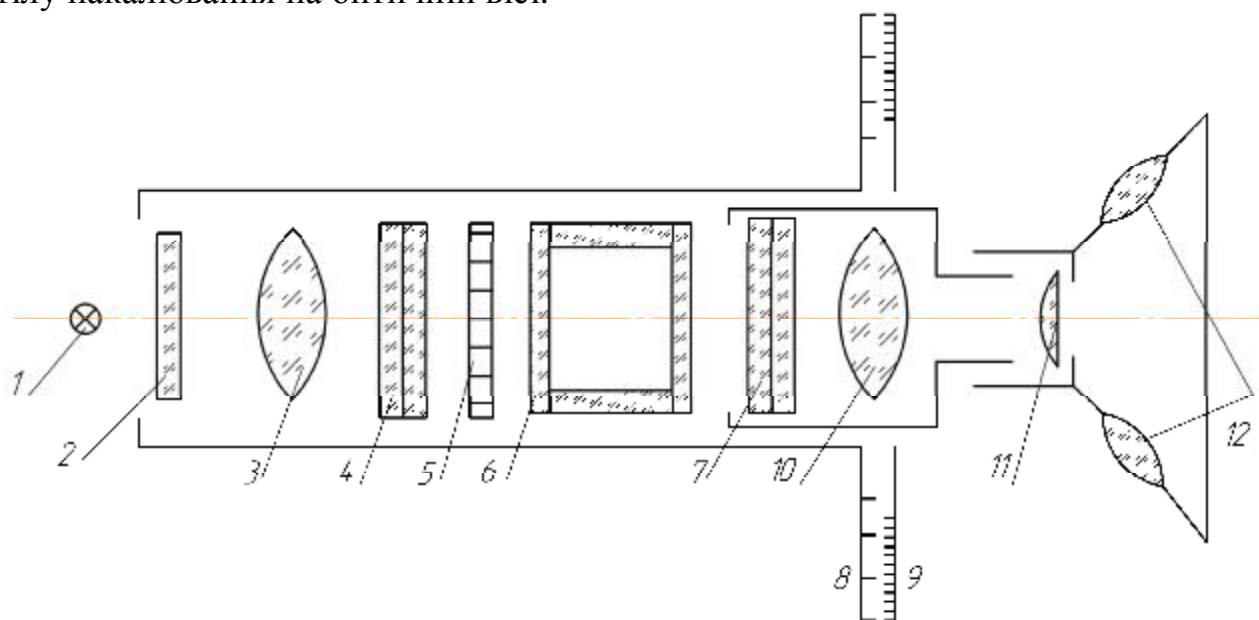


Рисунок 3.4 - Оптична схема кругового поляриметра «СМ» [3]:

1 – лампа розжарювання; 2 – жовтий світлофільтр; 3 – освітлювальна лінза; 4 – поляризатор; 5 – кварцова пластинка; 6 – кювета; 7 – аналізатор; 8 – лімб; 9 – ноніус; 10 – об’єктив; 11 – окуляр; 12 – лупи

Світлофільтр і поляроїди підібрати таким чином, щоб разом пропускати максимум енергії в області, що відповідає жовтій лінії натрію (лінія D, $\lambda = 589.3 \text{ мкм}$). При кутах повороту аналізатора більше 10° середня частина поля зору зафарбовується в червоний або зелений колір. Тому для більш точного вимірювання рекомендується використовувати освітлювач з натрієвою лампою.

Лімб в приладі нерухомий. На нього нанесена градусна шкала від 0 до 360° . Відносно лімба разом з аналізатором обертається два діаметрально протилежних ноніуса, що мають по 20 поділок. Ціна однієї поділки складає 0.05° . У випадку точних вимірювань для врахування ексцентриситету лімба використовують обидва ноніуса і беруть середнє значення із двох показників. Відлік знімається при спостереженні лімба і ноніусу через лупу.

Для швидкого визначення концентрації речовини рекомендується підбирати кювети такої довжини, щоб кут обертання площини поляризації в 1° відповідав 1 г речовини в 100 см^2 розчину.

Сахариметр (СОК-1) [3]. Вимірювання обертання площини поляризації можна виконувати з нерухомим аналізатором за допомогою компенсатора. Один із типів компенсаторів використано в сахариметрі СОК -1 рис. 3.5.

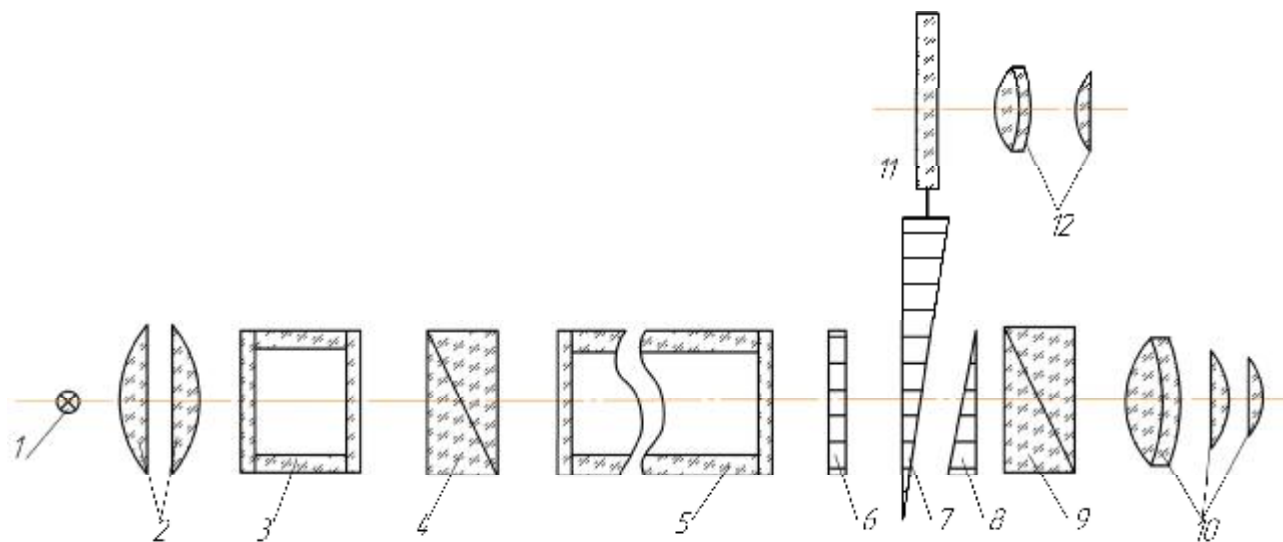


Рисунок 3.5 – Оптична схема сахариметра СОК -1 [3]:

1 - лампа розжарювання; 2 - конденсор, 3 - рідинний світлофільтр; 4 - напівтінювий Ніколь-поляризатор; 5 – кювета; 6 - плоско паралельна пластинка правообертаючого кварцу; 7- рухомий клин лівообертаючого кварцу; 8 - нерухомий клин лівообертаючого кварцу; 9 – аналізатор; 10 - зорова труба; 11 – шкала; 12- мікроскоп

Світло від джерела – лампи розжарювання 1 проходить конденсор 2, рідинний світлофільтр 3 і падає на напівтінювий Ніколь-поляризатор 4. В якості світлофільтра використовується 6 % - вий розчин калію біхромату в воді. Із поляризатора плоскополяризовані пучки променів падають на кювету 5 з розчином цукру, а потім на компенсатор. Компенсатор складається із плоско паралельної пластинки правообертаючого кварцу 6 рухомого клину лівообертаючого кварцу 7 і нерухомого клину лівообертаючого кварцу 8. Кристали кварцю вирізані і встановлені так, що їх оптичні вісі співпадають з

напрямок оптичної вісі приладу. З рухомим клином жорстко пов'язана скляна шкала 11. Відлік за шкалою знімають за допомогою мікроскопу 12. Поляризатор 4 і аналізатор 9 нерухомі. Напівтіньову картину спостерігають крізь зорову трубу 10. Пластика 6 виготовлена із право обертаючого кварцу для компенсації оберту площини поляризації клинами, коли рухомий клин знаходиться в початковому, нульовому, положенні.

Шкала компенсатора проградуєвана безпосередньо в одиницях міжнародної сахарної шкали.

Якщо в 100 см^2 водяного розчину при температурі 20°C знаходиться 26 г чистої сахарози, то при довжині кювети 200 мм зміщення компенсатора повинно відповідати 100°S міжнародної цукрової шкали. В цьому випадку максимум випромінювання, що пропускається світлофільтром, буде мати місце для $\lambda = 589.3 \text{ мкм}$. Похибка вимірювання концентрації розчину цукру не перевищує декількох десятих часток відсотка.

Таблиця 3.2 – Основні технічні поляриметри [5]

Тип приладу	Джерело світла	Напівтіні	Товщина шару, см	Діапазон вимірювання, град	Точність, град	Показання	Шкала відліку показань
Малий поляриметр для медицини	Лампа розжарювання з фільтром	Фіксовані пластини Лорана	5-10	0-10	0,1	візуальна	лімб
Лабораторний поляриметр загального призначення	натрієва лампа	фіксовані	20	від -30 до +30	0,05	візуальна	лімб
Великий лабораторний поляриметр	ртутно-натрієва лампа	змінні; призма Ліпіха	20-40	від -60 до +60	0,01	візуальна	лімб, ноніус
Сахариметр з кварцовим клином	Лампа розжарювання з фільтром	фіксовані або модуляція	20	від -100 до +100	0,05	візуальна або автоматична	шкала
Прецизійний поляриметр (електричний)	ртутна лампа	модуляція	20	від -60 до +60	0,001	напівавтоматичне або автоматичне	лімб або цифровий індикатор
Промислові поляриметри	ртутна лампа	модуляція	10	від -80 до +80 від -120 до +120	0,001 0,01	автоматичне	цифрова індикація, цифровий друк, реєстрація
Спектральний поляриметр для досліджень	ксенонова лампа з подвійним монохроматором	модуляція	від 0,01 до 5,0	від -10 до +10	0,0001	автоматичне	реєстрація, вихід на ЕОМ

4. Виконання роботи

Завдання 1. Ознайомитися з роботою поляриметра СМ-3 [1]

Конструкція приладу схематично зображена на рис.3.6. У корпусі приладу 1 знаходиться джерело світла, світлофільтр, поляризатор, фазова пластинка. До нього кріпиться кюветне відділення 2 і кришкою, що повертається 3, через окуляр 4 спостерігається зображення напівтіньового відліку. Ручкою 5 повертають аналізатор. Через лінзи відлікового пристрою 6 проглядається шкала 7 відлікового пристрою.

Дві шкали відлікового пристрою використовуються для полегшення вимірювання розчинів різних речовин. Для правообертальних речовин використовується ліва шкала, при цьому кут повороту складає $0 - 35$ градусів. Для лівообертальних речовин також використовується ліва шкала, при цьому кут повороту складає $360 - 325$ градусів – величина кута обертання рівна відліку по лівій шкалі мінус 360 градусів. У відліковому пристрої використовується ноніус.

Ноніус – це прилад, що складається з двох шкал і служить для підвищення точності відліку. На рис.3.6, б показана схема відліку по правій шкалі (для лівої відлік проводиться аналогічно). Першою шкалою є круговий лімб 8 (на рисунку зображена його частина), Другою шкалою є шкала ноніуса 9.

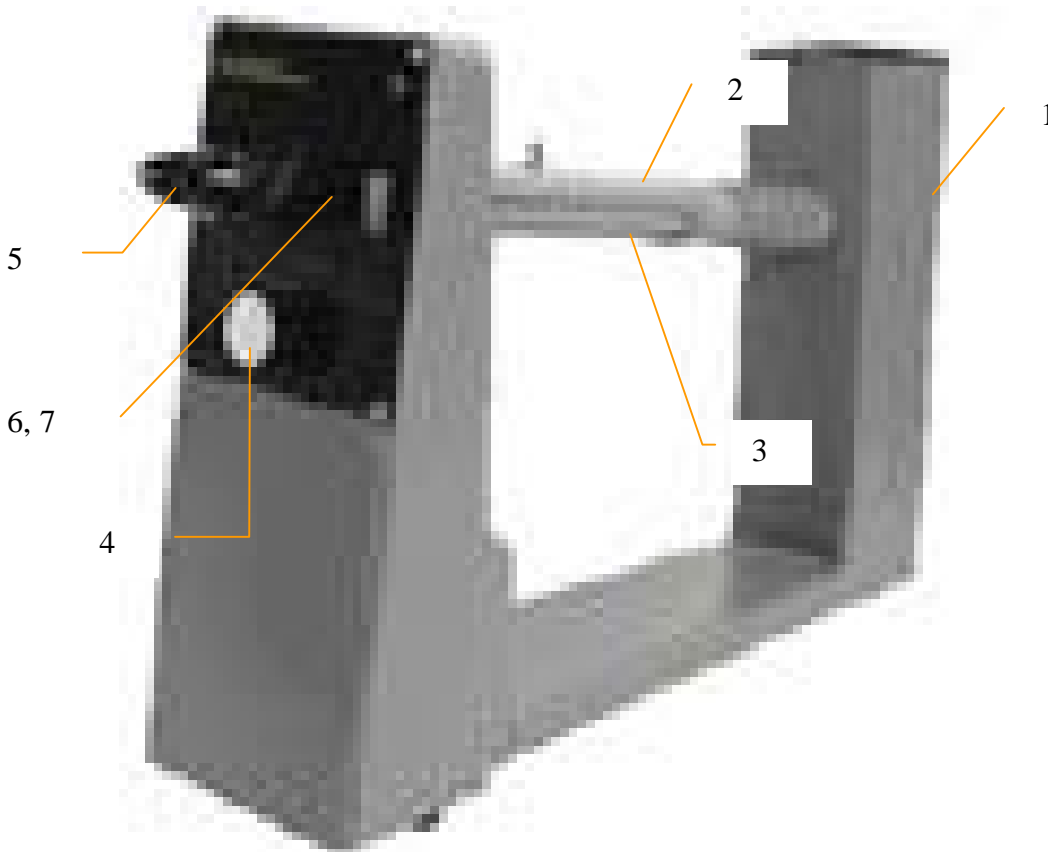
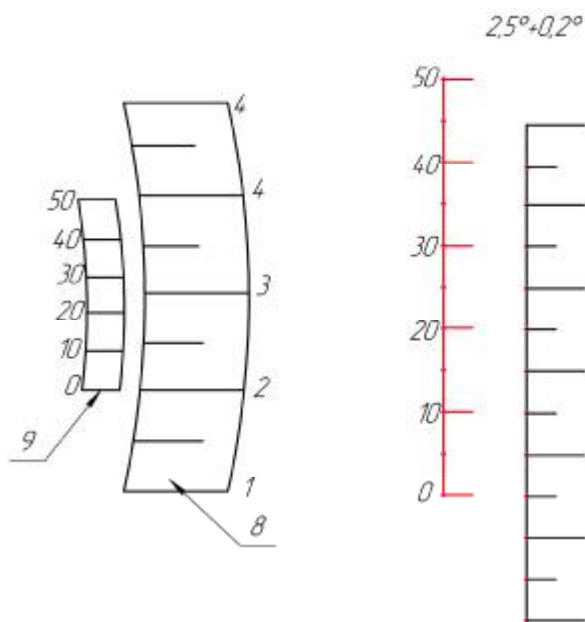


Рисунок 3.6 – а) конструкція поляриметра СМ-3: 1 – корпус, 2 – кюветне відділення, 3 – кришка кюветного відділення, 4 – окуляр, 5 – обертаюча ручка аналізатора, 6 – лінзи відлікового пристрою, 7 – шкали відлікового пристрою



Відлік показання аналізатора проходить наступним чином. Спочатку знаходять число мінімальної кількості градусів (з точністю до 0,5), на яке вказує нуль ноніуса – на рис.3.6, б це 2,5. Потім до цього значення додають десяті і соті долі градуса, що відповідають тому штриху ноніуса, який точно співпадає з будь-яким штрихом лімба, (вся шкала ноніуса складає $0,50^\circ$). Наприклад, на рис.3.6, б такою поділкою є 20, тобто $0,20$ градусів. Таким чином, на рисунку положення аналізатора характеризується кутом $\varphi=2,5^\circ+0,20^\circ$.

б) схема ноніуса [1]:
8 – лімб, 9 – шкала ноніуса

Завдання 2. Ознайомитися з роботою поляриметра СУ-3 [2]

Конструкція приладу показана на рис.3.7.

1. У відсутності в камері 1 поляриметричної кювети обертанням оправу окуляра 2 зорової трубки домогтися чіткого зображення тонкої лінії, що розділяє поле зору. Якщо поле зору виявиться неоднорідним, обертанням кремал'єри 3 домогтися повної однорідності поля зору окуляра 1.

2. Одержавши однорідне освітлення поля зору окуляра 2, обертанням оправу здійснити наведення на різкість окуляра 4 відлікової шкали.

3. Якщо налагодження приладу проведено правильно, нульову поділку ноніуса та відлікової шкали співпадають рис.3.8, а.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд поляриметра СУ-3

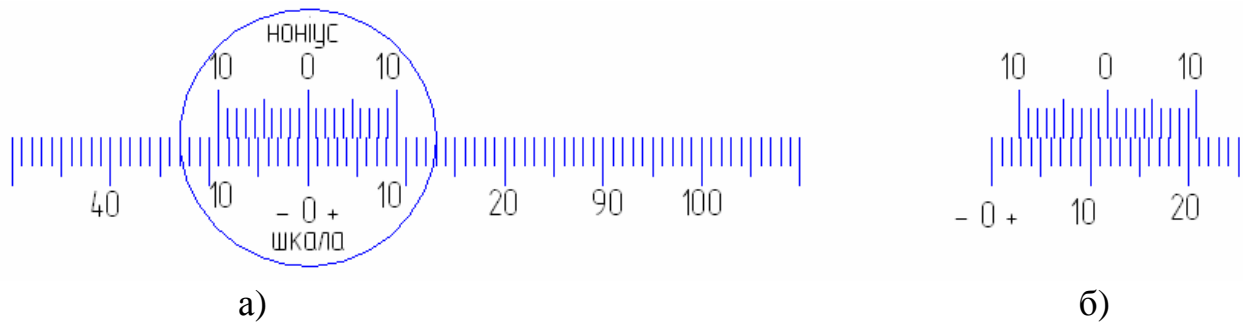


Рисунок 3.8 – Можливі відносні положення ноніусу та відлікової шкали [2]

Завдання 3. Визначити питоме обертання для цукру

1. Розташувати в камері поляриметра кювету з розчином цукру відомої концентрації ($C = (6,5 \pm 0,2)$ г/100 см², $L = (1,000 \pm 0,005)$ дм).
2. Виміряти величину кута обертання площини поляризації кількістю поділок n шкали.

- Відлік виконується наступним чином рис.3.9. Кількість цілих поділок визначають за основною шкалою до нуля шкали ноніусу. Число десяти поділок визначають за шкалою ноніусу: воно дорівнює номеру поділки ноніусу, який найкращим чином співпадає з будь-якою поділкою основної шкали.

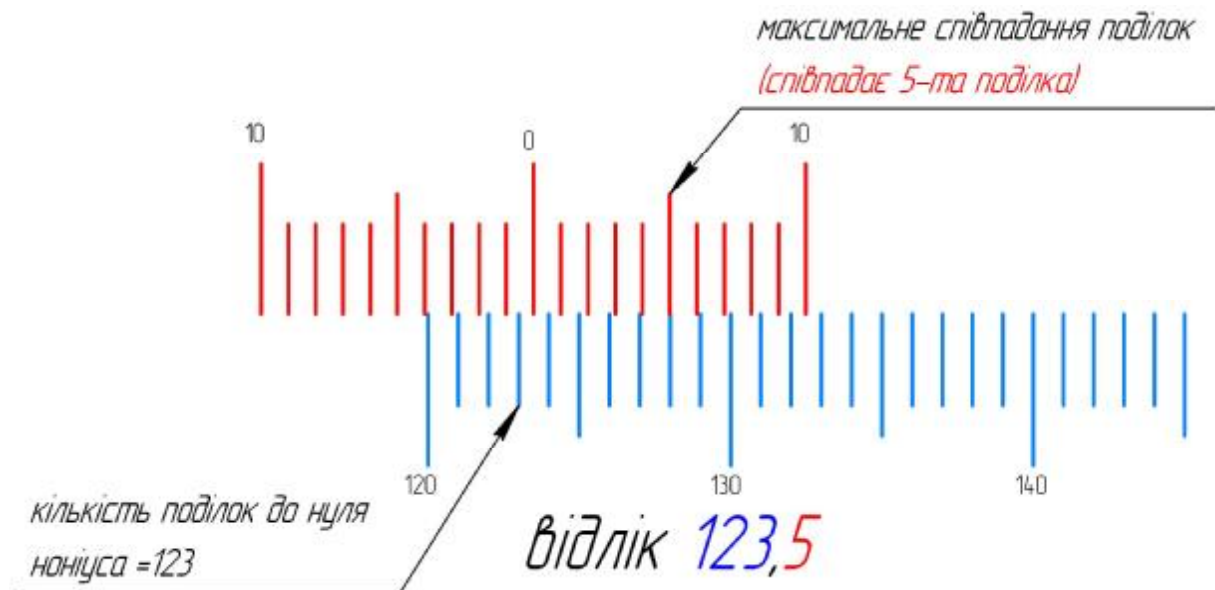


Рисунок 3.9 – Виконання відліку за шкалою приладу

- Кут обертання u визначаємо за формулою:

$$u = n \cdot c$$

де n - кількість поділок шкали;

$c = 0.35^\circ$ - ціна поділки шкали.

3. Вимірювання провести 10 разів, одержані результати занести до таблиці 3.3.

4. За даними вимірювань розрахувати середні значення результатів відліку n , питоме обертання.

- Питоме обертання розраховують за формулою [2]:

$$[j_0] = \frac{0.35 \cdot \bar{n}}{C \cdot L} \quad (3.3)$$

де \bar{n} - середнє значення відліку за шкалою;

L – довжина кювети;

C – концентрація розчину;

0,35 ціна поділки шкали.

- Визначити відносну похибку питомого обертання за формулою [2]:

$$\bar{d} = \frac{\Delta[j_0]}{[j_0]} = \frac{\Delta\bar{n}}{\bar{n}} + \frac{\Delta\bar{C}}{\bar{C}} + \frac{\Delta\bar{L}}{\bar{L}} \quad (3.4)$$

- Абсолютна похибка шуканої величини розраховується за формулою [2]:

$$\Delta[j_0] = \bar{d} \cdot [j_0] \quad (3.5)$$

- Остаточний результат питомого обертання має такий вигляд [2]:

$$[j_0] = [\bar{j}_0] \pm \Delta[\bar{j}_0] \quad (3.6)$$

Таблиця 3.3 – Результати вимірів і розрахунків питомого обертання для цукру

<i>Для розчину відомої концентрації</i> <i>$C=(6,5\pm0,2) \text{ г/100 см}^2$</i> <i>$L=(1,000\pm0,005) \text{ дм}$</i>					
N	n	Δn	L	ΔL	$[j_0]$
1		0,1	1,000	0,005	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Середнє значення					

Завдання 4. Визначити концентрацію розчину сахарози та глюкози

1. Ввімкніть поляризатор у мережу живлення. Вимикачем „сеть”, що знаходиться на задній стінці приладу ввімкніть прилад. Через 5 хвилин він буде готовий до роботи.

2. Обертанням втулки на окулярі 4 встановити окуляр так, щоб бачити чітке зображення лінії розділу лівої і правої частини поля порівняння.

3. Обертанням ручки 5 налаштуйте однакову яскравість обох полів при найменшій їх освітленості

- Записати результат вимірювання φ_0 без зразка в таблицю 3.4;
- Дослід виконати п'ять разів та знайти середнє значення кута обертання без зразка \bar{Y}_0 .

4. Відкрийте кришку 3 кюветного відділення 2 і помістіть в нього кювету з розчином сахарози

- Рівна освітленість зникає.
- За допомогою ручки 5 знову досягти рівної освітленості поля зору;
- Дослід виконати п'ять разів та знайти середнє значення кута обертання із зразком \bar{Y} .

5. Розрахувати кут обертання площини поляризації розчином сахарози $Y = \bar{Y} - \bar{Y}_0$. Записати дані до таблиці 3.4.

6. Розрахувати концентрацію розчину за формулою (3.2). Записати результат до таблиці 3.4.

7. Повторити дослід із розчином глюкози. Результати занести до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати вимірювання кута обертання сахарози та глюкози

<i>Речовина</i>	<i>Початкова установка кута Y_0, градус</i>		<i>Кут повороту зі зразком Y, градус</i>		<i>Кут повороту площини поляризації Y, градус</i>	<i>Концентрація C, г/100 мл розчину</i>
Сахароза	$Y_{01} =$	$\bar{Y}_0 =$	$Y_1 =$	$\bar{Y} =$		
	$Y_{02} =$		$Y_2 =$			
	$Y_{03} =$		$Y_3 =$			
	$Y_{04} =$		$Y_4 =$			
	$Y_{05} =$		$Y_5 =$			
Глюкоза	$Y_{01} =$	$\bar{Y}_0 =$	$Y_1 =$	$\bar{Y} =$		
	$Y_{02} =$		$Y_2 =$			
	$Y_{03} =$		$Y_3 =$			
	$Y_{04} =$		$Y_4 =$			
	$Y_{05} =$		$Y_5 =$			

5. Контрольні питання

1. Дайте визначення оптичної вісі кристалу.
2. Як залежить показник заломлення звичайного n_0 та незвичайного n_e променів від напрямку в кристалі?
3. Чи змінюється ступінь поляризації відбитого та заломленого променів при зміні кута падіння світла на поверхню діелектрика?
4. Як змінюється кут повороту площини поляризації при збільшенні довжини хвилі світла, що проходить крізь оптично активну речовину?

6. Література

1. Практикум по биофизике: Учебн. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 352 с.
2. Чалий О.В., Агапон Б.Т., Меленевська А.В. та ін. Медична і біологічна фізика: Підручник для студентів вищих медичних закладів освіти III-IV рівнів акредитації. – К.: ВІПОЛ, 2001. – 415 с..
3. Ильин Р.С. Лабораторные оптические приборы. – М.: Машиностроение, 1966.
4. Прикладная оптика: Учебн. пособие для приборостроительных специальностей вузов / Л.Г. Бебчук, Ю.В. Богачев, Н.П. Заказнов и др.; Под общ. ред. Н.П. Заказнова. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.
5. Измерение в промышленности: Справ. изд. в 3 кн. Кн. 3. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. /Под ред. Профоса П. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.

Лабораторна робота № 2.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ ДІОДІВ

Світловипромінюючий діод представляє собою напівпровідниковий електрично керований елемент. Електричні і випромінюючі властивості світлодіоду залежать від механізму переносу носіїв при змiщенні переходу в прямому і зворотному напрямку і законів випромінюючої і без випромінюючої рекомбінації в напівпровідниках. В основі принципу дії світлодіоду лежить перетворення електричної енергії в електромагнітне випромінення, спектр якого може лежати в видимій та інфрачервоній областях спектру.

1. Мета роботи

1. Вивчити принцип дії світловипромінюючих діодів.
2. Зняти світлову характеристику $I_v = f(I_{np})$ світлодіода.

2. Підготовка до роботи

1. Види провідності в напівпровідниках (електронна та діркова, власна і домішкова).
2. Напівпровідники n – та p – типу.
3. Контактні явища в напівпровідниках.
4. Явища в $p - n$ – переході при прямому включенні напруги змiщення.

3. Теоретичні відомості

3.1 Класифікація джерел випромінення

Випромінювач – прилад, що перетворює електричну енергію збудження в енергію оптичного випромінення заданого спектрального складу і просторового розподілу [1].

Випромінювачі складають основу будь-якої оптоелектронної системи, в значній мірі визначаючи її функціональні можливості та експлуатаційні показники.

Вимоги до випромінювачів в загальному вигляді можуть бути сформульовані так [1]:

1. висока ефективність перетворення енергії збудження в енергію оптичного випромінення;
2. вузька спектральна смуга випромінення;
3. спрямованість випромінення;
4. швидкодія, тобто швидке виникнення і погашення випромінення;
5. сумісність і інтегральними мікросхемами;
6. висока технологічність і низька вартість;

7. високі експлуатаційні характеристики, в першу чергу стійкість до жорстких механічних, температурних і радіаційних дій;
8. мініатюрність;
9. когерентність згенерованого випромінення.

Джерела випромінення можуть бути двох основних типів, що мають різні властивості [2-4]:

- Теплові:
 - Модель абсолютно чорного тіла;
 - Лампи розжарювання.
- Люмінесцентні:
 - Газорозрядні лампи;
 - Електролюмінофори (електролюмінісцентні конденсатори);
 - Світло діоди;
 - Оптичні квантові генератори.

Теплові джерела

Це джерела електромагнітного випромінення, що випускається нагрітим тілом за рахунок підвищення внутрішньої енергії. Теплове випромінення має суцільний спектр, положення максимуму якого залежить від температури тіла. З її підвищенням збільшується загальна енергія теплового випромінення, а максимум переміщується в область менших довжин хвиль.

Потужність випромінення, що випускається нагрітим тілом визначається:

$$P = s \cdot e \cdot S \cdot T^4 \quad (4.1)$$

де $s = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$ – постійна Стефана – Больцмана;

e - випромінююча здатність тіла (у реальних тіл <1 , у абсолютно чорного тіла $=1$;

S – площа випромінюючої поверхні;

T – температура тіла.

Окрім моделей абсолютно чорного тіла до теплових джерел відносяться лампи розжарювання.

Люмінесцентні джерела

Люмінесценцією називають випромінення, надлишкове відносно теплового при даній температурі, що продовжується після припинення збудження протягом часу, що перевищує період світлової хвилі (10^{-14} с).

Для виникнення люмінесценції в будь-якому тілі, в тому числі і напівпровіднику, необхідно привести його за допомогою зовнішніх джерел енергії у збуджений стан, тобто в стан, при якому його внутрішня енергія перевищує рівно вісну при даній температурі.

Якщо джерелом зовнішньої енергії є світло, то спостерігається **фотолюмінісценція**. При збудженні тіла швидкими електронами (або іншими

частинками) виникає **катодолумінесценція**. При дії електричного поля або струму з'являється **електролюмінісценція**.

3.2 Світлодіоди

Світлодіодом називають випромінюючий напівпровідниковий прилад з одним електронно-дірковим переходом, який призначений для безпосереднього перетворення електричної енергії і енергію некогерентного світлового випромінювання.

Світлодіод представляє собою випромінюючий $p-n$ – перехід, випромінювання в якому виникає внаслідок рекомбінації носіїв заряду (електронів і дірок) [1-3, 5]. Випромінювання спостерігається при змищенні переходу в прямому напрямку.

Як відомо, проходження струму через $p-n$ – перехід в прямому напрямку супроводжується інжекцією електронів в p – область, а дірок в n – область.

Інжектвані неосновні носії рекомбінують з основними носіями даної області напівпровідника. Стан напівпровідника, який виникає при інжекції неосновних носіїв заряду через $p-n$ – перехід характеризується наявністю в зоні провідності значно більшої кількості електронів, а валентній зоні – більшої кількості дірок, не є достатньою стійким, і тому спостерігається безперервний перехід електронів із зони провідності в валентну зону, що супроводжується виділенням енергії (кванту світла) – **фотона**.

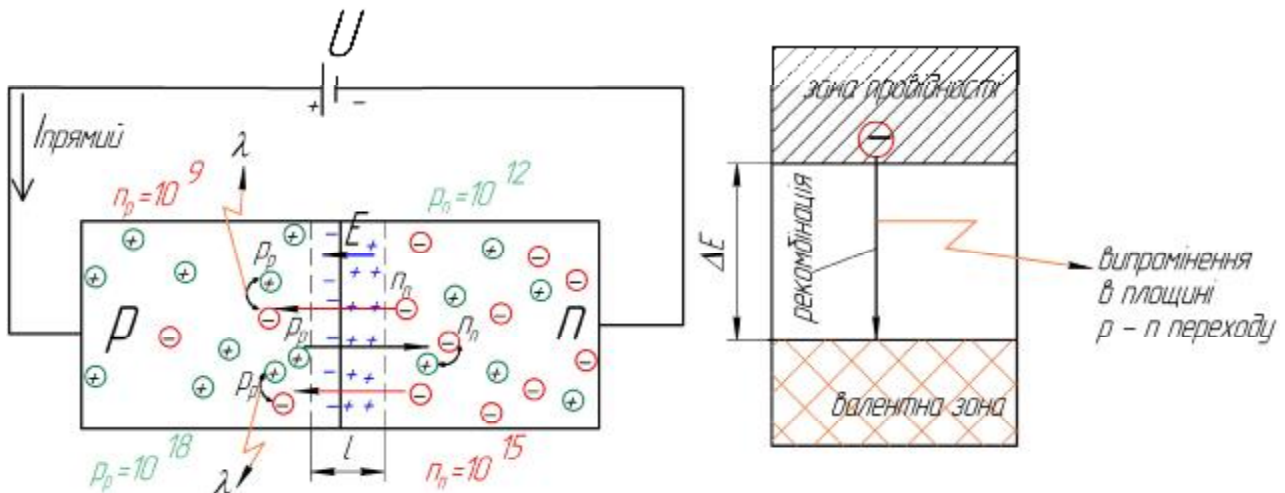


Рисунок 4.1 – а) Структура $p-n$ – переходу світловипромінюючого діоду; б) енергетична діаграма рекомбінації електронів в p – області

Максимальна енергія, яка може виділитися при рекомбінації, дорівнює ширині забороненої зони даного напівпровідника: $\Delta E = h \cdot \nu$. В залежності від ширини забороненої зони напівпровідника і особливості рекомбінації носіїв заряду випромінювання може лежати в інфрачервоній, видимій або ультрафіолетовій частині спектру.

Оскільки напівпровідник покидає тільки частина фотонів, інші спочатку відбиваються від поверхні, а потім поглинаються в об'ємі напівпровідника, то вводять поняття **квантової ефективності випромінювання**.

Зовнішньою квантовою ефективністю випромінювання (квантовим виходом), називається відношення числа випромінених у прості фотонів до числа неосновних зарядів, що інжектували через $p-n$ – перехід.

3.3 Основні характеристики світловипромінюючих діодів

Основними параметрами промислових світловипромінюючих діодів є [1, 5]:

- *Сила світла* I_v - світловий потік, що випромінюється діодом, який приходить на одиницю тілесного кута в напрямку, перпендикулярному площині випромінюючого кристалу. Вказується при заданому значенні прямого струму і вимірюється в канделах (кд).
- *Яскравість* L – величина, рівна відношенню сили світла до площі освітленої поверхні. Вимірюється в канделах на квадратний метр (кд/м²) при заданому значенні прямого струму через діод.
- *Постійна пряма напруга* U_{np} – значення напруги на світло діоді при протіканні постійного прямого струму.
- *Максимально допустимий постійний прямий струм* $I_{np,max}$ – максимальне значення постійного прямого струму, при якому забезпечується задана надійність при тривалій роботі діода.
- *Максимально допустима зворотна постійна напруга* $U_{zv,max}$ – максимальне значення постійної напруги, що прикладена до діоду, при якому забезпечується задана надійність при тривалій роботі діода.
- *Максимум спектрального розподілу* I_{max} – довжина хвилі світлового випромінювання, що відповідає максимуму спектральної характеристики випромінювання світлодіода.

До основних характеристик світлодіода відносяться [1, 5]:

- *Яскравісна характеристика* $L = f(I_{np})$ - залежність яскравості від прямого струму.
- *Світлова характеристика* $I_v = f(I_{np})$ - залежність сили світла від прямого струму.

При малих струмах і відповідно малих напругах на світловипромінюючому діоді процес випромінювання протікає неактивно. Тому початкова ділянка яскравісної (світлової) характеристики нелінійна. При більших струмах яскравісна характеристика майже лінійна. Ця частина характеристики є найважливішою – її вигляд визначає оптимальний режим роботи світло випромінюючого діоду.

- *Спектральна характеристика* – виражає залежність інтенсивності випромінювання від довжини хвилі. Довжина хвилі випромінюючого світла визначається різницею енергій двох енергетичних рівней, між якими проходить перехід електронів на випромінюючому етапі процесу рекомбінації і визначається вихідним матеріалом і легуючими домішками.

- *Діаграма спрямованості* – визначається конструкцією діоду, наявністю лінзи, оптичними властивостями матеріалу, що захищає кристал. Діаграми, що наводяться в довідникових даних, показують зменшення сили світла в залежності від кута, під яким ведеться спостереження випромінення.

- *Вольт – амперна характеристика* – аналогічна характеристиці звичайного випрямляючого діода.

В додатку Б наведені деякі розповсюджені типи світловипромінюючих діодів.

В таблицях 1, 2, 3 додатку В наведені основні характеристики і параметри серійно випускаємих світловипромінюючих діодів (СВД).

3.4 Режими живлення і схеми включення світловипромінюючих діодів [5]

Живлення СВД виконується в різних режимах: постійним струмом, в імпульсному режимі і функціональному режимі.

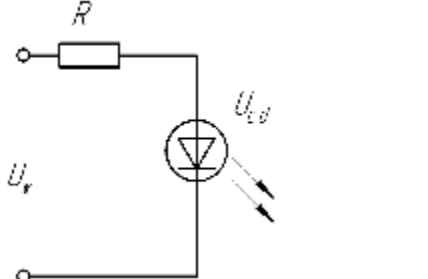
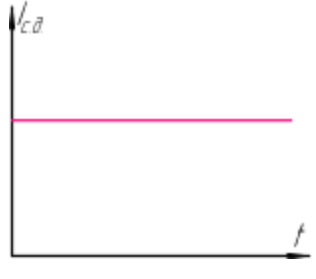
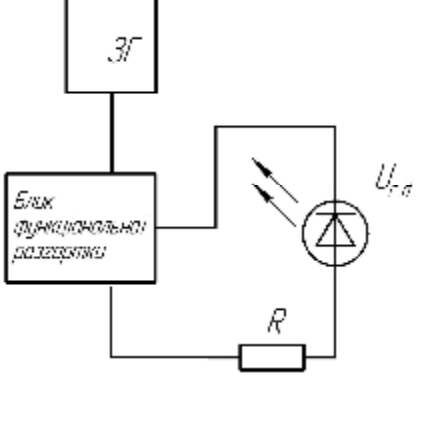
Режим живлення постійним струмом є найбільш простим, оскільки для його реалізації не потрібно спеціальні пристрої (генератори, СВД підключається до джерела живлення через струмозадаючий резистор табл.4.1. Цей режим найбільш придатний для одно каналних оптоелектронних вимірювальних перетворювачів з модуляцією сигналу в оптичному каналі.

Імпульсний режим живлення має ряд переваг у порівнянні з режимом живлення постійним струмом. Якщо, СВД використовується в двох хвильових пристроях, то цей режим забезпечує часове розділення потоків і, як наслідок, використовується один фотоприймач із спектральною характеристикою, чутливою до обох потоків. Спрощується процес підсилення і обробки сигналу у порівнянні з першим режимом. Зменшується енерговживання, що вкрай необхідно при розробці приладів із автономним живленням. Підбираючи необхідну скважність, можна забезпечити достатньо високу потужність випромінення, на один – два порядки перевищуючу номінальну потужність випромінення СВД.

Третій режим живлення функціональний. Його перевагою є інтенсифікація виконуваних математичних операцій, і в випадку використання в пристроях контролю забезпечується лінеаризація передаточної характеристики пристрою з одночасним спрощенням всього пристрою та підвищенням точності.

Збільшення потужності випромінення СВД при експоненційній розгортці можна досягти зменшенням постійної часу, тривалості експоненти та збільшенням початкового максимального значення струму СВД. Проте зменшення постійної часу призводить до зменшення чутливості і збільшення похибки вимірювання. Подальше збільшення потужності випромінення можна досягти, використавши режим дискретно функціонального живлення.

Таблиця 4.1 – Режими живлення світловипромінюючих діодів [7]

Режим	Схема включення	Часові діаграми	Математичне представлення сигналу
Постійним струмом			$\Phi(t) = K \cdot I_0 = \Phi_0; R = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{c.д.}}}{I_n}$ <p>$U_{\text{ж}}$ - напруга джерела живлення; $U_{\text{c.д.}}$ - падіння напруги на СВД значення якого від 1,0 до 2,2 В; I_n - номінальний струм СВД</p>
Імпульсний			$\Phi(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ \Phi_0 & \text{при } 0 \leq t \leq t_i \\ 0 & \text{при } t > t_i \end{cases}$ <p>Максимально допустиме значення струму: $I_{i \text{ max}} = I_n \cdot \sqrt{\frac{T}{t_i}}$, де t_i - тривалість імпульсу; T - тривалість паузи.</p> <p>Для отримання необхідної потужності випромінювання необхідно зменшувати тривалість імпульсу і збільшувати паузи між імпульсами.</p>
Експоненційний			$\Phi(t) = \Phi_0 \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_e}\right)}$ <p>Максимально допустиме значення струму: $I_m = I_n \cdot \frac{a \cdot T}{1 - e^{-a \cdot T}}$, де $a = \frac{1}{t_e}$ - постійна часу експоненційного струму; T - час вимірювання, що дорівнює тривалості експоненційного імпульсу.</p> <p>Режим дискретно функціонального живлення: $I_m = \sqrt{Q} \cdot I_n \cdot \frac{a \cdot T}{1 - e^{-a \cdot T}}$, де Q - скважність.</p>

Розглянемо схеми включення світловипромінюючих діодів табл.4.2. Аналіз схем включення СВД показує, що схеми 3 та 4 мають більш високу швидкодію і є генераторами струму, якщо їх не доводити до насичення. Схема 2 є генератором напруги, і як наслідок, струм через СВД визначається опором навантажуючого резистора СВД.

Найбільшу швидкодію мають схеми 3, 4. Їх відмінність полягає в тому, що в схемі 4 СВД підключений до загальної шини. Необхідно також відмітити, що значення струму через СВД визначається його внутрішнім опором. Для усунення цих нестабільностей необхідно підвищувати напругу живлення $U_{ж}$,

так як нестабільність, що вноситься транзистором і СВД: $K_{нс} = \frac{\Delta U_n}{U_{ж}}$, де ΔU_n -

нестабільність через падіння напруги на транзисторі і СВД. Таким чином, чим більша $U_{ж}$, тим більші повинні бути опори R_k, R_n і, як наслідок, менше буде відчуватися вплив внутрішнього опору СВД.

При використанні СВД в двохвильових пристроях необхідно розрізнити 4 варіанти включення СВД опорного та вимірювального каналів: зустрічно-паралельне; послідовне; зустрічно-послідовне; роздільне (незалежне) включення.

В табл.4.2 наведені варіанти включення СВД та схеми їх заміщення, складені із врахуванням наступних припущень. Для схем включення 5, 6 вважаємо, що СВД U_1, U_2 мають ідентичні характеристики, і вкладаємо схему заміщення для одного із СВД.

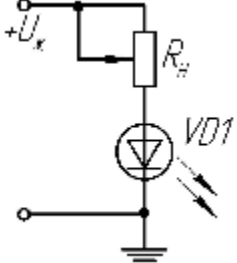
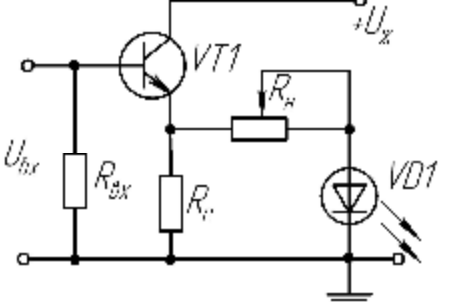
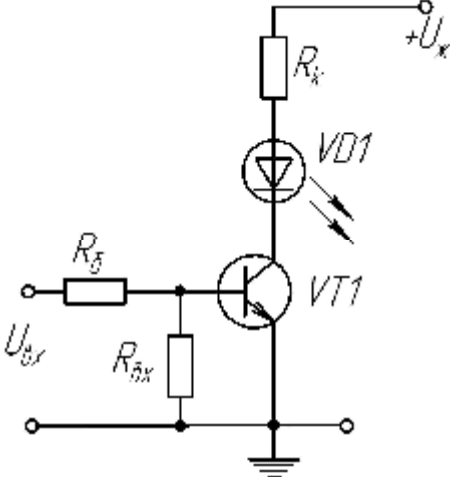
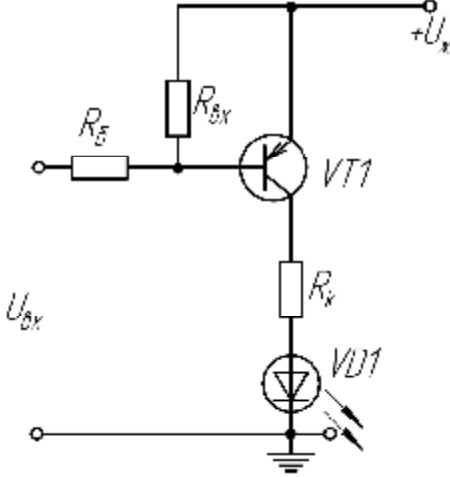
При зустрічно-паралельному включенні СВД живлення виконується від генератора змінного струму. В один із напівперіодів включається один СВД, в другий на півперіод – другий. Тому, якщо підібрані ідентичні СВД, то на точність вимірювання не впливає нестабільність живлячих імпульсів.

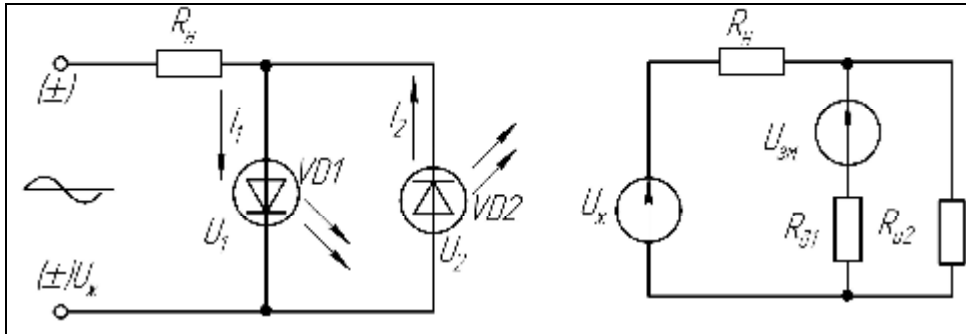
Перевагами послідовного варіанту включення є простота схемної реалізації джерела живлення. Недоліком є необхідність використання двох фотоприймачів, причому кожен із них повинен сприймати випромінювання тільки одного СВД, тобто цей варіант не забезпечує часового розділення потоків від кожного імпульсу випромінювача. Ця схема може бути використана при невисоких вимогах до пристрою контролю (абсолютна похибка більше 3 %).

При зустрічно – послідовному включенні живлення виконується від генератора змінної напруги. Недоліком є відсутність роздільного вирівнювання потоків випромінювання.

Останній варіант – це роздільне незалежне включення СВД. Переваги останньої схеми – можливість незалежного живлення СВД, взаємного вирівнювання потоків випромінювання та часове розділення цих потоків.

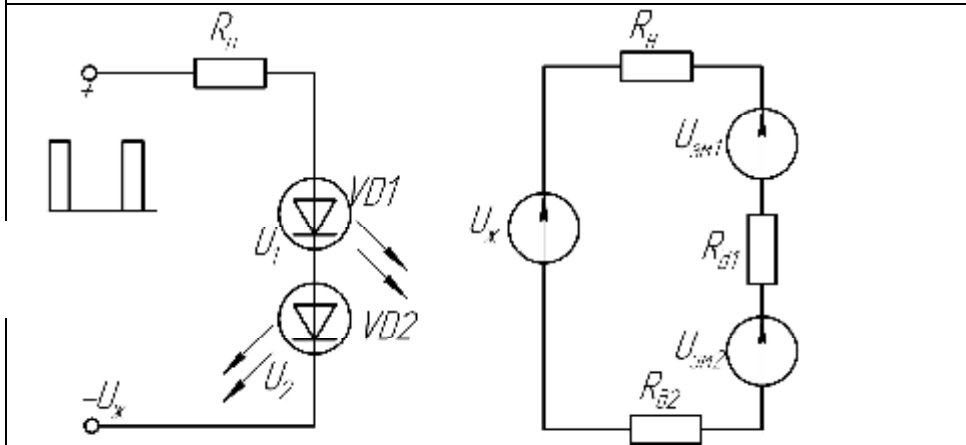
Таблиця 4.2 – Схеми включення СВД

Схема включення СВД	Розрахункові формули
	<p>Струм, що протікає через СВД $I_{c.d.} = U_{ж} - \frac{U_{c.d.}}{R_n}$.</p>
	<p>Струм, що протікає через СВД $I_{c.d.} = I_{вх} \cdot (1 + b) \cdot \frac{R_{вх} \cdot R_e + (R_n + r_d)}{r_{вх} \cdot R_e}$.</p> <p>$R_{вх}, r_{вх}$ - вхідний опір каскаду і транзистора відповідно; r_d - динамічний опір СВД; b - коефіцієнт посилення струму.</p> <p>При живленні великою напругою $R_{вх} \approx r_{вх}$, а $r_d \ll R_n$ $I_{c.d.} = I_{вх} \cdot (1 + b) \cdot \frac{R_e + (R_n)}{R_e}$</p>
	 <p>Струм через СВД $I_{c.d.} = \frac{U_{ж} - U_{c.d.} - U_{КЭвідкл.}}{R_k + r_d}$</p> <p>$U_{КЭвідкл.}$ - залишкова напруга на транзисторі в відкритому стані.</p> <p>Струм бази транзистора $I_{\delta} = \frac{(U_{вх} - U_{\delta e})}{R_{\delta}}$.</p> <p>Опір R_{δ} повинен забезпечувати струм насичення транзистора:</p> $I_{\delta} = \frac{S \cdot I_k}{b},$ <p>де $S = \frac{I_{\delta}}{I_{\delta гр.}}$ - коефіцієнт насичення; $I_{\delta гр.}$ - граничне значення струму бази.</p>



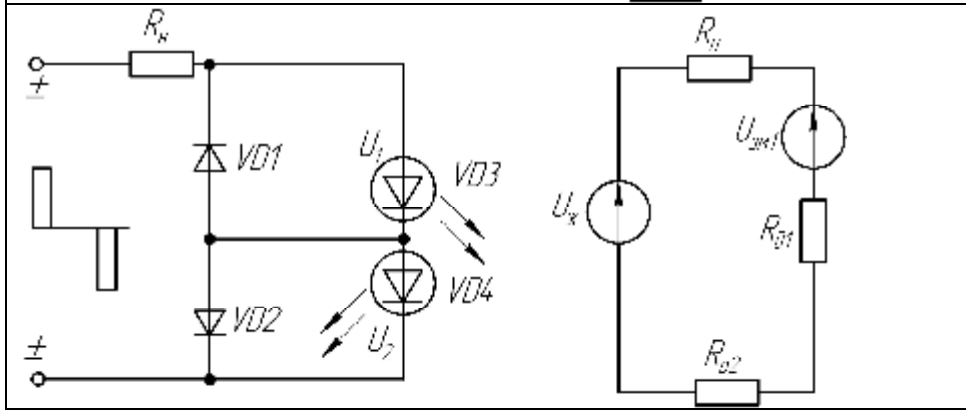
$$I = \frac{U_{\text{жс}} - U_{3M} + I_2 \cdot r_{\partial} - U_{3M} + I_1 \cdot r_{\partial}}{R_{o2} + R_H} \cdot \frac{R_{o2} + R_{o1}}{R_{o2} + R_{o1}}$$

$$R_H = \frac{U_{\text{жс}} - U_{3M} - r_{\partial 1} \cdot (I_1 + I_2)}{I}$$



$$I = \frac{U_{\text{жс}} - U_{3M1} - U_{3M2}}{R_H + r_{\partial 1} + r_{\partial 2}}$$

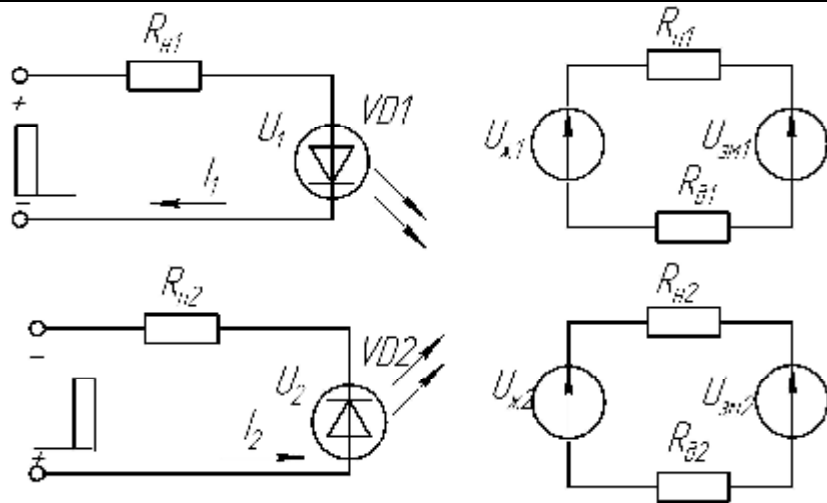
$$R_H = \frac{U_{\text{жс}} - U_{3M1} - U_{3M2} - I \cdot (r_{\partial 1} + r_{\partial 2})}{I}$$



$$I_1 = I_2, E_1 = E_2$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{3M1}}{R_H + r_{\partial 1} + R_{o2}}$$

$$R_H = \frac{U_{\text{жс}} - U_{3M} - I_1 \cdot (r_{\partial 1} + R_{o2})}{I}$$



$$I_1 = \frac{U_{\text{ж}1} - U_{\text{з}1}}{R_{\text{H}1} + r_{\text{д}1}}, I_2 = \frac{U_{\text{ж}2} - U_{\text{з}2}}{R_{\text{H}2} + r_{\text{д}2}}$$

$$R_{\text{H}1} = \frac{U_{\text{ж}1} - U_{\text{з}1} - I_1 \cdot r_{\text{д}1}}{I_1}$$

$$R_{\text{H}2} = \frac{U_{\text{ж}2} - U_{\text{з}2} - I_2 \cdot r_{\text{д}2}}{I_2}$$

Примітка. $U_{\text{ж}}$, $U_{\text{ж}1}$, $U_{\text{ж}2}$ - напруга джерел живлення; $R_{\text{H}1}$, $R_{\text{H}2}$ - опори навантаження; I_1 , I_2 - струми через СВД; $r_{\text{д}}$ - динамічний опір СВД; $R_{\text{о}1}$, $R_{\text{о}2}$ - зворотній опір СВД; $U_{\text{з}1}$ - пряме падіння напруги на СВД.

3.5 Методи компенсації часової і температурної нестабільності випромінення світловипромінюючих діодів [7]

Однією із основних характеристик СВД є їх часова і температурна стабільність потужності випромінення. Виявлення та усунення дестабілізуючих факторів має велике значення.

Розглянемо існуючі методи стабілізації інтенсивності випромінення СВД:

- § термостабілізація;
- § ізоляція СВД від різного роду дестабілізуючих дій; введення в ланцюг живлення СВД термочутливих елементів із зворотною температурною характеристикою рис.4.2 в;
- § вибір оптимального опору ланцюга живлення СВД;
- § стабілізація робочого режиму введенням зворотного зв'язку по термозалежному параметру СВД;
- § стабілізація введенням зворотного зв'язку по оптичному каналу.

На рис.4.2 наведені схеми стабілізації інтенсивності випромінення.

Перший та другий способи стабілізації інтенсивності випромінення СВД дозволяють зменшити нестабільність його випромінення, проте відрізняються складністю та інерційністю, а також мають порівняно обмежені можливості і не виключають необхідності прийняття додаткових заходів для ослаблення нестабільності, що зумовлена наявністю розкиду параметрів СВД та їх зміною внаслідок старіння.

Способи, засновані на виборі робочого режиму, є найбільш універсальні для визначеного встановленого значення потужності. Окрім того, вони більш вигідні в частині апаратурної реалізації. Температурна стабілізація при такому способі може бути отримана в тому випадку, якщо динамічний опір позитивний.

Експериментально значення R_I рис.4.2 а визначають наступним чином. Встановлюють температуру СВД t_1 і вимірюють падіння напруги на СВД U_1 і відносну величину потоку випромінення Φ_1 при нормальному струмі I_1 . Потім змінюють температуру t_2 , встановлюють значення падіння напруги U_2 , при якому потік не змінюється, і вимірюють відповідне значення струму I_2 . Необхідний опір визначають за формулою [7]:

$$R = \frac{(U_2 - U_1)}{(I_1 - I_2)} \quad (4.2)$$

Опір резистора складає одиниці і десятки Ом. Вибір опору для кожного конкретного зразка також є одним із недоліків цього методу.

Розглянемо ще один метод, заснований на виборі оптимальних значень елементів ланцюга живлення. Сутність методу полягає в тому, що із підвищенням температури зменшується падіння напруги на СВД і при включенні паралельно СВД резистора рис.4.2, проходить перерозподіл струму в бік гілки із СВД.

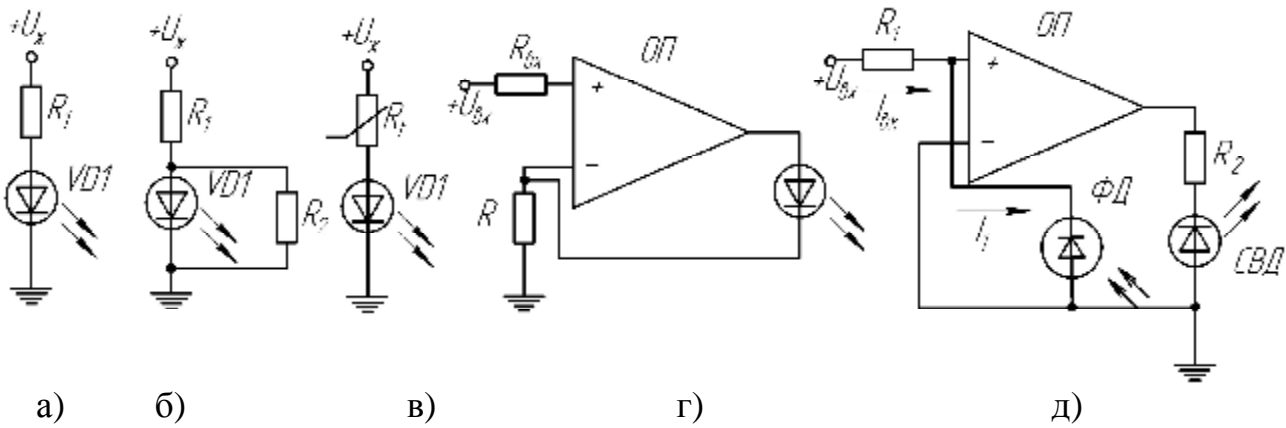


Рисунок 4.2 – Схеми стабілізації інтенсивності випромінення світловипромінюючих діодів [7]

Окрім того, збільшується загальний струм, протікаючий через паралельно включений ланцюг резистор – СВД. При оптимальному виборі опору резистора збільшення температури призводить до збільшення струму через СВД.

Цей метод можна застосувати і для ланцюга з декількома послідовно включеними СВД, причому для декількох СВД метод найбільш ефективний, так як підвищується ККД.

Недивлячись на простоту схемної реалізації, цей метод вимагає великих затрат потужності, так як опір компенсаційного резистора R_2 наближається до нуля і не усуває часову нестабільність СВД.

Розглянуті методи, хоча і мають деякі переваги, не можуть використовуватися для стабілізації інтенсивності випромінення СВД, що використовуються в оптоелектронних вимірювальних перетворювачах в якості джерела випромінення оскільки, не виключається такий дестабілізуючий фактор, як старіння (часова нестабільність), а також неможливо використовувати цей спосіб при імпульсному функціональному живленні СВД.

Четвертий метод стабілізації робочого режиму СВД заснований на введенні зворотного зв'язку по термозалежному параметру СВД рис.4.2 г. Сутність методу полягає в тому, що у всіх напівпровідникових елементів із зміною температури змінюється пряме і зворотне падіння напруги. Зміну цієї напруги можна використати для термостабілізації. Недоліком цього методу є неможливість усунення часової нестабільності.

В найпростішому випадку стабілізацію інтенсивності випромінення СВД можна виконати введенням зворотного зв'язку по оптичному каналу рис.4.2 д, використовуючи операційний підсилювач і один фотодіод. На рис.4.2 д показана схема стабілізації, для якої можна записати [7]:

$$\frac{(I_{ex} - I_1) \cdot R_{ex} \cdot K - U_{c.d}}{R_2 + r_d} = I_{c.d} \quad (4.3)$$

де K – коефіцієнт підсилення підсилювача;

I_1 - струм фотодіода;

$I_{c.d}$ - струм СВД;

r_{∂} - динамічний опір СВД.

Фотострум для фотодіода можна записати [7]:

$$I_1 = g \cdot P_o \quad (4.4)$$

де P_o - потужність випромінення СВД;

g - коефіцієнт перетворення.

Підставивши значення фотоструму в вираз для струму СВД, після деяких перетворень отримаємо [7]:

$$P_o = \frac{I_{ex}}{g} \cdot \left(1 - \frac{R_2 + r_{\partial}}{a \cdot g \cdot R_{ex} \cdot K} \right) - \frac{U_{c.\partial} \cdot a}{a \cdot g \cdot R_{ex} \cdot K + R_2 + r_{\partial}} \quad (4.5)$$

де a – коефіцієнт перетворення.

Якщо добуток $a \cdot g \cdot R_{ex} \cdot K$ достатньо великий, то $P_o = \frac{I_{ex}}{g}$. Як видно в першому наближенні потужність світлового потоку визначається тільки вхідним струмом.

4. Виконання роботи

1. Зібрати лабораторний стенд за схемою рис.4.3.

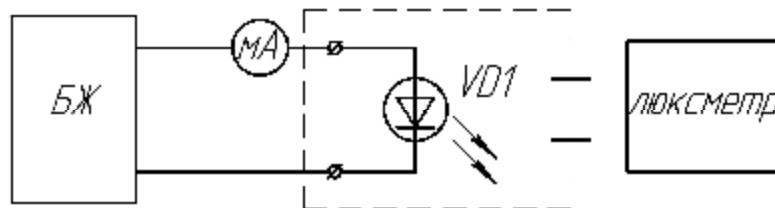


Рисунок 4.3 – Схема вимірювальної установки

2. Виконати вимірювання залежності освітленості E площадки люксметра від струму I через світлодіод червоного кольору світіння до максимального значення $I = 20 \text{ мА}$. Результати вимірювання занести до таблиці 4.3.

3. Розрахувати значення сили світла світлодіода за формулою:

$$I_n = \frac{E \cdot S}{\rho} \quad (4.6)$$

де S - площа приймальної площадки люксметра.

Розраховані значення занести до таблиці 4.3.

4. Повторити вимірювання для світлодіода зеленого світіння.

Таблиця 4.3 – Експериментальні та розрахункові параметри світлодіодів

<i>Тип світлодіоду</i>	<i>I, мА</i>	<i>E, лк</i>	<i>I_n, мкД</i>
АЛ316А (або будь-який інший)	2		
	4		
	...		
	20		
АЛ307В (або будь-який інший)	2		
	4		
	...		
	22		

5. Контрольні питання

1. Поясніть механізм роботи світлодіодів. Від чого залежить колір світіння світлодіоду.
2. Поясніть термін «інжекція».
3. Поясніть механізм рекомбінації.
4. Намалюйте і поясніть енергетичну діаграму при прямому включенні р – n – переходу.
5. Поясніть залежність згенерованого світлодіодом світлового потоку від прикладеної напруги і температури.
6. Спектральні характеристики і швидкодія світлодіодів.
7. Матеріали і конструкції світловипромінюючих діодів.

6. Література

1. Оптоэлектронные устройства в радиолюбительской практике: Справ. пособие / Ю.А. Быстров, А.П. Гапунов, Г.М. Персианов. – М.: Радио и связь, 1995. – 160 с.
2. Верещагин И.К. и др. Введение в оптоэлектронику: Учеб. пособие для вузов / И.К. Верещагин, Л.А. Косяченко, С.М. Кокин. – М.: Высш. шк., 1991. – 191 с.
3. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.
4. Шука А.А. Электроника. Учебное пособие / Под ред. проф. А.С. Сигова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
5. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 448 с.
6. Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники. – К.: Выща шк., 1989. – 423 с.
7. Мухитдинов М., Мусаев Э.С. Светоизлучающие диоды и их применение. – М.: Радио и связь, 1988. – 80 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЙМАЧІВ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЕННЯ

Приймач випромінювання є основним елементом оптико-електронного пристрою. Він являє собою пристрій, що служить для сприйняття енергії випромінювання і перетворення її в енергію інших видів з метою наступної реєстрації результату цього перетворення.

1. Мета роботи

1. Ознайомитися з принципом дії вентильного фотоелемента. Визначити інтегральну чутливість фотоелемента.

2. Ознайомитися з принципом дії фотодіода. Дослідити вольт-амперну характеристику фотодіода в стаціонарних режимах. Дослідити перехідні характеристики при імпульсному освітленні фотодіода.

2. Підготовка до роботи

1. Зовнішній та внутрішній фотоэффект.
2. Закони зовнішнього та внутрішнього фотоэффекту.
3. Застосування зовнішнього фотоэффекту.
4. Фотоэффект в напівпровідниках.
5. Застосування внутрішнього фотоэффекту.

3. Теоретичні відомості

3.1 Класифікація приймачів випромінювання

Фотоелектричні перетворювачі за основним своїм призначенням засновані на принципі перетворення випромінювання оптичного діапазону в електричний сигнал [1-5]. Функція перетворення виконується різноманітними приймачами випромінювання, дія яких заснована на фотоелектричних або термоелектричних явищах .

Приймачі випромінювання, в яких використовують термоелектричні явища, називаються *тепловими* приймачами випромінювання.

Фотоелектричні приймачі використовують зовнішній або внутрішній фотоэффект.

Зовнішнім фотоэффектом або фотоелектронною емісією називається випуск електронів речовиною під дією падаючого на його поверхню випромінювання.

Явище зовнішнього фотоэффекту лежить в основі принципу дії лічильників фотонів таких, як фотоелементи та фотоелектронні множники.

Явище, при якому електрони, що знаходяться в валентній зоні напівпровідника або зоні домішкового рівня, при поглинанні світла збуджуються і переходять в зону провідності називається **внутрішнім фотоефектом**

Внутрішній фотоефект має два прояви.

1. Фотопровідність – це зміна провідності напівпровідників під дією випромінення. Напівпровідникові прилади, принцип дії яких заснований на явищі фотопровідності, називаються **фоторезисторами**.

2. Фотогальванічний ефект – це утворення фото Е.Р.С. при освітленні напівпровідникових систем. Фотоелектричні приймачі, в яких під дією випромінення виникає фото Е.Р.С. на границі двох контактуючих матеріалів, називається **вентильним фотоелементом**, або фотоелементом з запірним шаром.

3.2 Основні характеристики і параметри фоточутливих приладів [1, 6]

Спектральна характеристика чутливості відображає реакцію фотоприладу на дію випромінення з різною довжиною хвилі. Ця характеристика визначає спектральну область використання приладу, його спектральну і інтегральну чутливість.

Енергетична (світлова) характеристика відображає залежність фотовідповіді приладу від інтенсивності збуджуючого потоку випромінення (ампер-ватна, вольт-ватна, люкс-амперна характеристика). Енергетичною характеристикою називають також залежність інтегральної або спектральної чутливості приладу від інтенсивності опромінення.

Граничні характеристики показують здатність фото приладу реєструвати випромінення малої інтенсивності.

Вольт-амперна характеристика відображає залежність струму фотоприймача від прикладеної до нього напруги; світловий (загальний) струм $I = I_S + I_F$, де I_S – струм при відсутності освітлення (темновий струм), I_F – фотострум.

Частотні характеристики описують залежність чутливості від частоти модуляції випромінення або тривалості імпульсів і характеризують інерційність приладу.

Температурні характеристики визначають залежність параметрів приладу (темновий струм, темновий опір, чутливість) від температури оточуючого середовища. Робочий температурний інтервал вказують в паспорті приладу.

Робоча напруга U_p - постійна напруга, що прикладена до приладу, при якому забезпечені номінальні параметри при тривалій роботі в заданих експлуатаційних умовах.

Максимально допустима напруга U_{max} – значення постійної напруги, при якій відхилення параметрів приладу не перевищують встановлених меж.

Потужність розсіювання - потужність, що виділяється при проходженні фотоструму; вона визначає розігрівання приладу.

Темновий опір R_T - опір приладу при відсутності падаючого на нього випромінення в межах його спектральної чутливості.

Диференційний опір R_0 – відношення малих приростів напруги на приладі і струму через нього.

Темновий струм I_S – струм, що проходить через прилад при вказаній напрузі при відсутності потоку випромінення в межах спектральної чутливості.

Короткохвильова (довгохвильова) границя спектральної чутливості – найменша (найбільша) довжина хвилі монохроматичного випромінення, при якій монохроматична чутливість приладу дорівнює 0,1 від її максимального значення.

Динамічний діапазон лінійності характеризує область значення променевого потоку Φ (від Φ_{\min} до Φ_{\max}), в якій енергетична характеристика лінійна: $\Delta = 10 \lg \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}}$.

Максимум спектральної характеристики чутливості – довжина хвилі, що відповідає максимуму чутливості приладу.

Струмова чутливість S_I (А/лм або А/Вт) визначає значення фотоструму, що створюється одиничним потоком випромінення.

Вольтова чутливість S_U характеризує значення сигналу в вольтах, віднесене до одиниці падаючого потоку випромінення.

Струмову і вольтову чутливість називають *інтегральною*, якщо вона характеризує чутливість до інтегрального потоку випромінення. Інтегральну струмову і вольтову чутливість розраховують за формулою:

$$S_I = \frac{(I - I_S)}{\Phi}, S_U = \frac{(U - U_S)}{\Phi}, \quad (5.1)$$

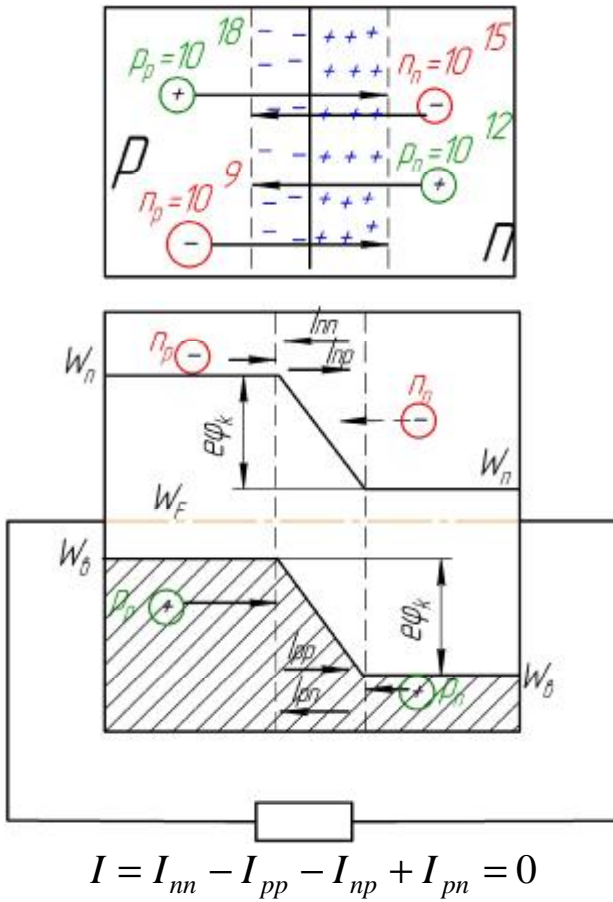
де I, I_S, U, U_S – загальні і темнові струм і напруга приладу відповідно.

Гранична чутливість P_{2p} визначає рівень потужності світлового потоку, при якому сигнал дорівнює шуму.

Інерційність приладу характеризують постійні часу збільшення τ_3 і спаду $\tau_{сп}$ фотовідклику при імпульсі випромінення. При синусоїдальній модуляції світлового потоку швидкодію приладів характеризують граничною частотою, на якій фотовідклик зменшується до рівня 0,7 стаціонарного значення.

3.3 Принцип дії фотодіода [7]

Фотодіод – один із найбільш розповсюджених видів напівпровідникових приймачів світла. Їх дія заснована на зміні струму через $p - n$ - перехід при освітленні його світлом з довжиною хвилі, що відповідає області власного поглинання напівпровідникового матеріалу діода [1-5].



При відсутності освітленості і зміщення (тобто в стані рівноваги) через $p-n$ - перехід протікають компенсуючі один одного потоки основних і неосновних носіїв – електронів із n – області в p – область і назустріч із p – в n – область і дірок із p – області в n – область і назустріч із n – в p – область рис. 5.1.

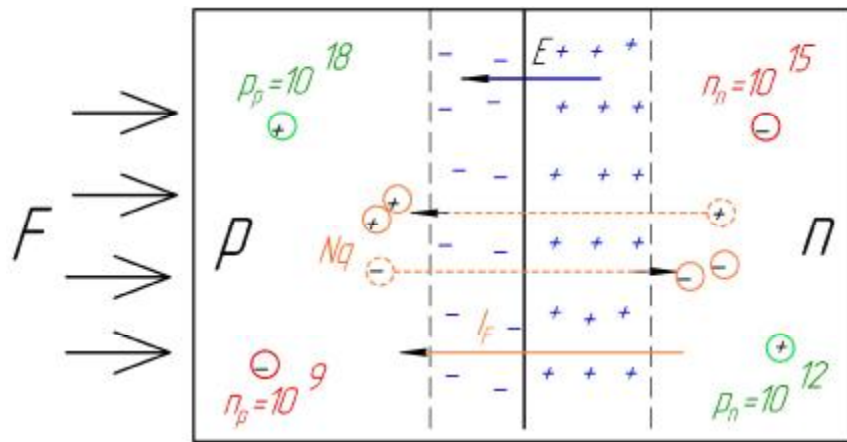
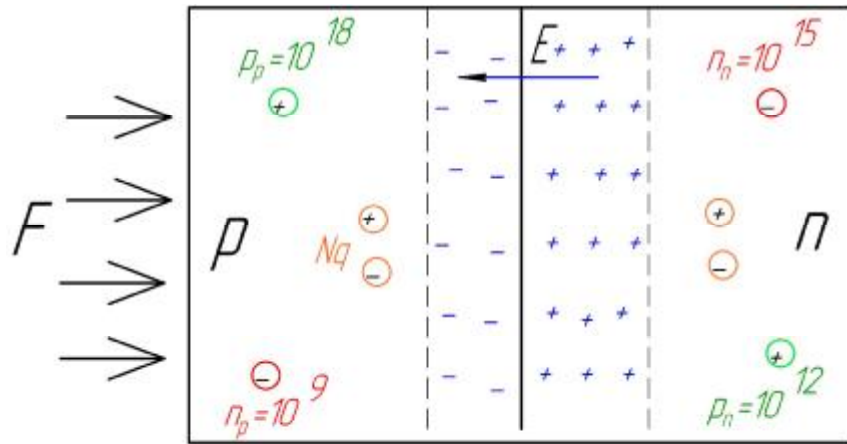
Величини потоків основних носіїв залежать від концентрації цих носіїв біля $p-n$ - переходу і від висоти потенційного бар'єру $p-n$ - переходу. Величини ж потоків неосновних носіїв визначаються тільки їх концентрацією у границі шару об'ємного заряду $p-n$ - переходу, так як неосновним носіям не потрібно переборювати потенційний бар'єр рис. 5.1, б.

Рисунок 5.1 – Структура $p-n$ - напівпровідника в стані рівноваги

Вважаємо, що світло падає тільки на p – область фотодіода. Через великий коефіцієнт оптичного поглинання більша частина випромінення поглинається в зовнішньому шарі p – області, проте деяка частка випромінення проникає глибше і поглинається в вузькому збідненому шарі переходу і в нижній n – області. Якщо на одиницю поверхні напівпровідника падає монохроматичне випромінення з потужністю F і частотою ν , то в одиничному об'ємі матеріалу в 1 секунду поглинаються фотони і генеруються пари носіїв:

$$N_q = \frac{F \cdot (1 - R) \cdot \alpha}{h \cdot \nu} \quad (5.2)$$

де F – потужність світлового потоку;
 R – коефіцієнт відбиття світла від поверхні напівпровідника;
 α - коефіцієнт оптичного поглинання.



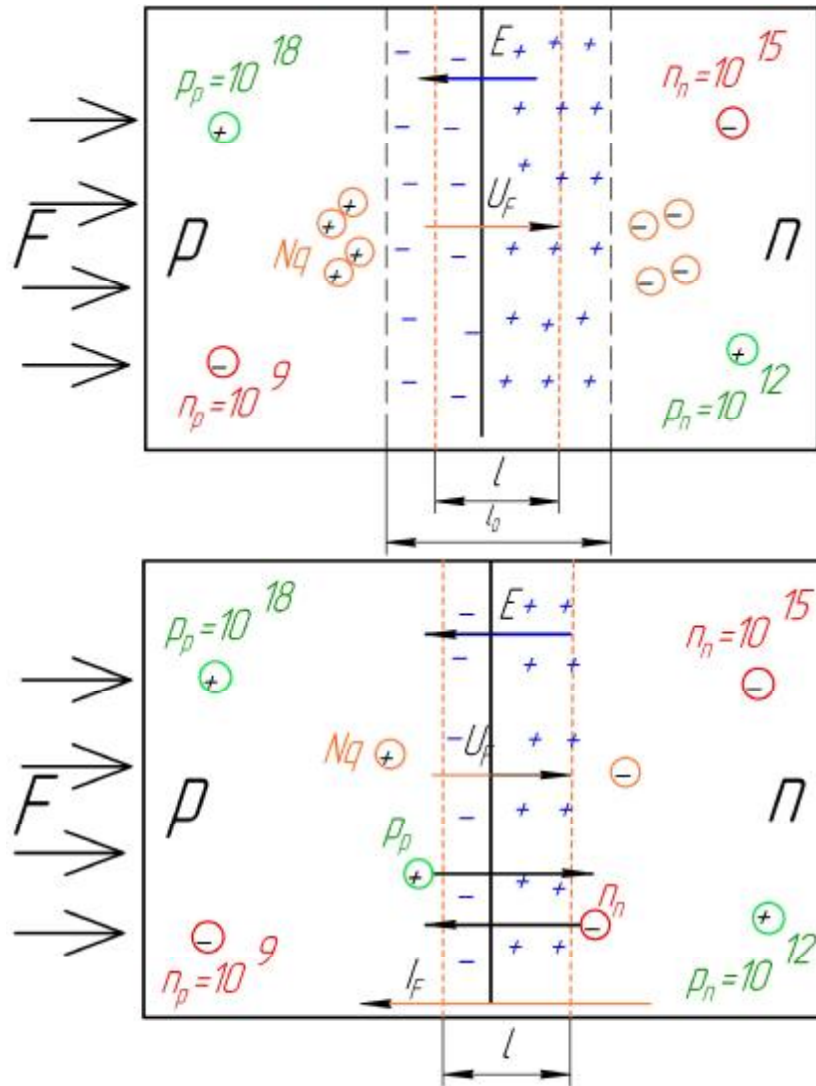
Внаслідок оптичного збудження в $p - i n -$ області виникає нерівновісна концентрація носіїв заряду.

Так як в області об'ємного заряду концентрація носіїв менша, ніж в $p - i n -$ області, то під впливом градієнта концентрацій електронно-діркові пари дифундують до $p-n$ переходу.

На границі переходу носії розділяються, і неосновні носії заряду під впливом внутрішнього електричного поля E , перекидаються через перехід в область, де вони є основними носіями. Дірки загальмовуються полем E і залишаються в $p -$ області, аналогічно електрони загальмовуються полем E і залишаються в $n -$ області.

Фотострум, тобто струм, утворений потоком через $p-n$ перехід збуджених світлом неосновних носіїв, відповідає кількості пар, що підійшли до переходу і визначається величиною [5]:

$$I_F = \frac{e}{h \cdot n} \cdot h \cdot b \cdot F = S_1 \cdot F \quad (5.3)$$



Таким чином, в результаті освітлення напівпровідника по обидві сторони від $p - n$ - переходу збільшується концентрація основних носіїв заряду. Перенесення додаткового позитивного заряду «фотоносіїв» в p - область і накопичення додаткового від'ємного заряду в n - області формує на переході пряме зміщення U_F . Об'ємний заряд цих носіїв частково компенсує заряди іонів запираючого шару, зменшуючи ширину $p - n$ - переходу l_0 до величини l , і зменшуючи потенціальний бар'єр до величини $j_k - U_F$.

При цьому порушується умова рівноваги і виникає дифузний рух через перехід основних носіїв заряду.

Новий рівновісний стан відповідає меншій висоті потенційного бар'єру $j_k - U_F$, при якому потік нерівновісних носіїв заряду через перехід, що викликаний світловим опроміненням, повністю урівноважений зустрічним дифузійним потоком основних носіїв заряду.

Е.Р.С., що виникає при цих процесах, на значення якої зменшується потенційний бар'єр в $p - n$ - переході, називають **фотоелектрорушійною силою, або фото - Е.Р.С.**

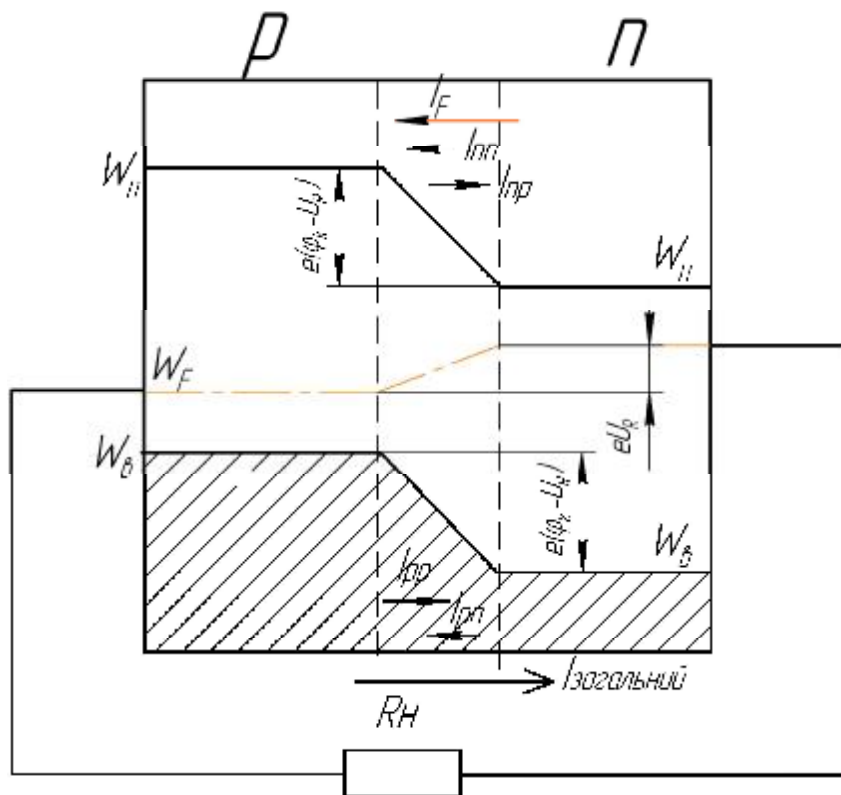


Рисунок 5.2 - Схема освітленого $p - n$ - переходу, замкнутого на зовнішнє навантаження

Якщо $p - n$ - перехід замкнути на зовнішній ланцюг, то при освітленні в ланцюгу буде протікати струм $I_{заг.}$. Якщо прийняти напрямок фотоструму за позитивний, то для повного струму, що протікає у зовнішньому ланцюгу освітленого фотоелемента, можна записати:

$$I = I_F - I_{np} + I_{pn} + I_{nn} - I_{pp} = \frac{U_R}{R_n} \quad (5.4)$$

де $I_{nn} = I_{np} \cdot e^{\frac{e \cdot U_R}{k \cdot T}}$, $I_{pp} = I_{pn} \cdot e^{\frac{e \cdot U_R}{k \cdot T}}$ - струм основних носіїв заряду відповідно в n і p - області, що дифундують через перехід наслідок наявності в ньому градієнту концентрації зарядів;

I_{np} I_{pn} - струми, що утворенні неосновним носіями відповідно в p і n - області (дрейфовий струм);

* перший індекс означає тип носіїв заряду, другий - область, в якій струм протікає.

U_R - напруга, що виникає на електродах фотоелемента при освітленні, рівна падінню напруги, що створюється струмом I на опорі навантаження: $U_R = I \cdot R_n$.

Полярність цієї напруги відповідає прямій напрузі на переході, внаслідок чого вона викликає збільшення дифузійних струмів основних носіїв через перехід.

Підставивши ці вирази в вираз (5.4), отримаємо:

$$I = I_F - I_S \left(e^{\frac{e \cdot U_R}{k \cdot T}} - 1 \right) \quad (5.5)$$

Розв'язавши (5.5) відносно U_R , отримаємо:

$$U_R = \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\left(1 + \frac{I_F - I}{I_S}\right) = \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\left(1 + \frac{S_1 \cdot F - I}{I_S}\right) \quad (5.6)$$

В режимі короткого замикання $R_H = 0, U_R = 0$, маємо $e^{\frac{e \cdot U_R}{k \cdot T}} = 1$, тому струм у зовнішньому ланцюгу дорівнює фотоструму:

$$I_{кз} = I_F = S_1 \cdot F \quad (5.7)$$

Порівнюючи вирази (5.5) і (5.7) можна бачити, що тільки в режимі короткого замикання має місце лінійна залежність між струмом в ланцюгу фотоелемента і падаючим на нього світловим потоком.

В режимі холостого ходу (при розімкнених контактах) $I = 0$ маємо:

$$U_{хх} = \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\left(1 + \frac{I_F}{I_S}\right) \quad (5.8)$$

Результуюча різниця потенціалів на р-п переході залежить від схеми включення фотодіода.

Якщо фотодіод закорочений опором навантаження R_H без використання додаткового джерела зміщення, то фотодіод працює в **вентильному режимі**; сам фотодіод в цьому випадку називають **фотоелементом**.

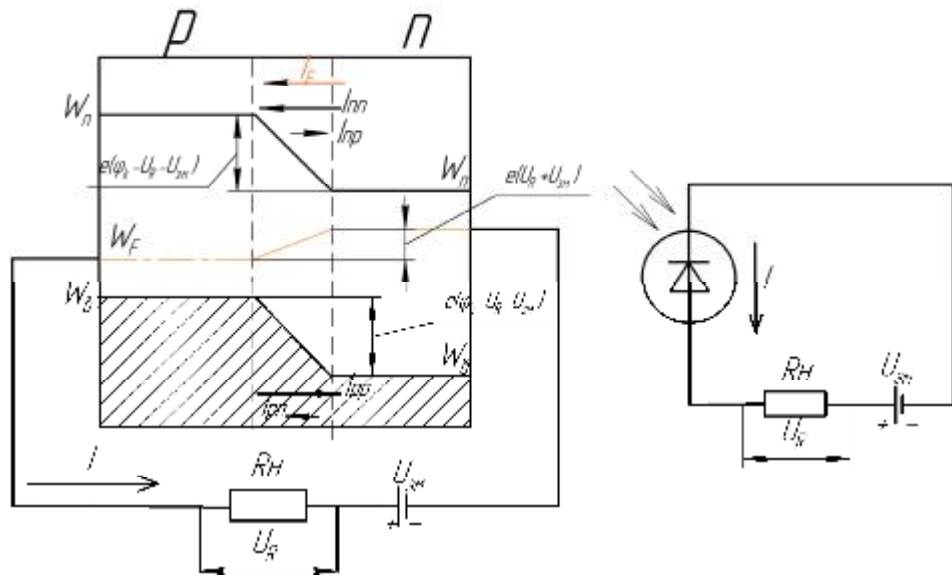
Якщо на фотодіод подається від'ємне зовнішнє зміщення $U_{зм}$, то фотодіод працює в **фотодіодному режимі**.

3.4 Фотогальванічний і фотодіодний режими роботи

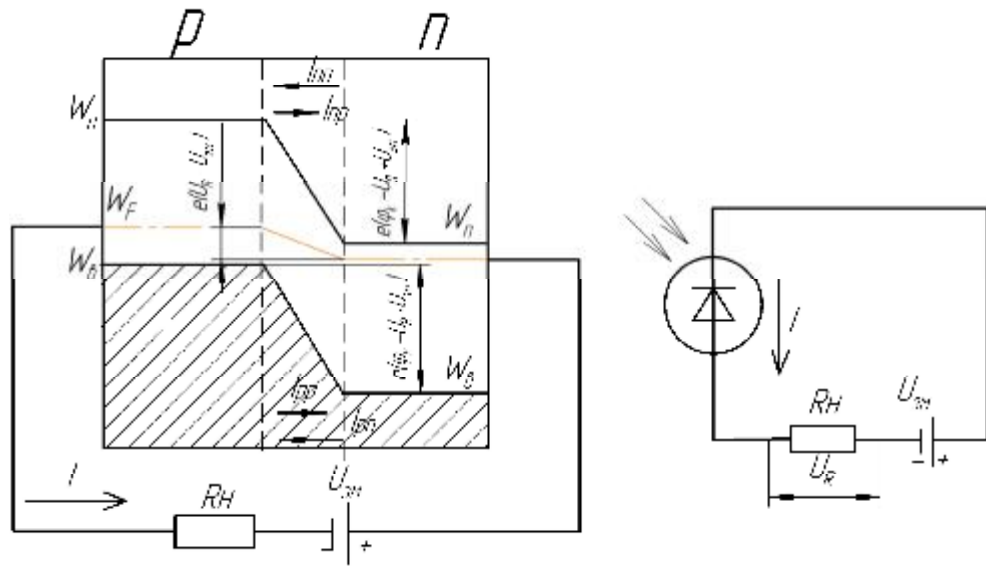
Для того, щоб визначити, як буде змінюватися струм в ланцюгу фотоелемента з р-п переходом при одночасному освітленні його і подачі напруги від стороннього джерела, можна скористатися отриманими рівняннями.

Існує два способи включення фотоелементів з електронно-дірковим переходом:

- в фотогальванічному режимі, тобто в режимі генерування фото – Е.Р.С., - без зовнішнього джерела живлення рис.5.2.
- в режимі, коли на р - n – перехід подається зворотнє зміщення рис. 5.3.



а)



б)

Рисунок 5.3 – Електронно-дірковий перехід: а) пряме включення; б) зворотнє включення $p - n$ - переходу

При подачі на освітлений $p - n$ - перехід зовнішньої напруги $U_{зм}$ в прямому напрямку (плюс зі сторони діркової області і мінус зі сторони електронної), тобто при прямому зміщенні $p - n$ - переходу, зовнішнє електричне поле компенсує внутрішнє, зменшуючи висоту контактного потенційного бар'єру. Кількість основних носіїв, які здатні переходити через $p - n$ - перехід швидко збільшується і струм електронно-діркового переходу значно перевищує фотострум:

$$I = I_S \left(e^{\frac{e \cdot (U_R + U_{зм})}{k \cdot T}} - 1 \right) - I_F \approx I_S \left(e^{\frac{e \cdot U_{зм}}{k \cdot T}} \right) \quad (5.9)$$

При зворотному зміщенні $p - n$ - переходу, зовнішнє поле додається з внутрішнім, збільшуючи потенційний бар'єр, який перешкоджає дифузії основних носіїв через перехід рис.5.6.

У відповідності з виразом (2.9) отримаємо:

$$I = I_F - I_S \left(e^{\frac{e \cdot (U_R - U_{зм})}{k \cdot T}} - 1 \right) \quad (5.10)$$

При $U \gg I \cdot R_H$ і $U \gg k \cdot T$, $I = I_F + I_S$.

Фотодіоди використовують при подачі напруги тільки в запираючому напрямку: при включенні прямого зміщення в ланцюгу протікає прямий струм, який не залежить від освітленості і небезпечний для приладу через велику величин

Вольт-амперна характеристика $I = f(U)$ при $F = const$ визначає залежність струму фотодіода від напруги на ньому при постійній величині світлового потоку.

Вольт – амперні характеристики неосвітленого і освітленого $p-n$ – переходу показано на рис. 5.4.

При відсутності освітленості $F = 0$ через фотодіод протікає темновий струм I_s . Вольт – амперну характеристику при відсутності освітлення називають **темною**. Значення темнового струму I_s при заданій температурі оточуючого середовища і робочій напрузі вказують в паспорті приладу.

При збільшенні світлового потоку струм фотодіода збільшується.

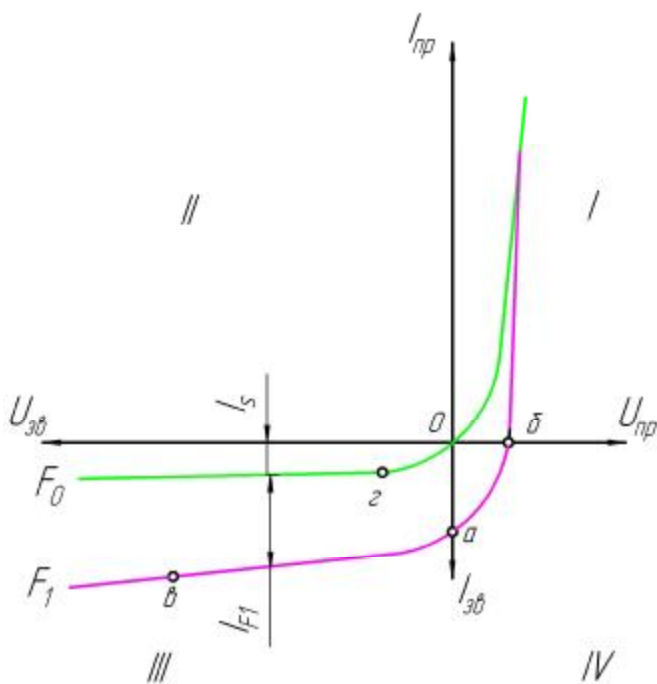


Рисунок 5.4 – ВАХ освітленого і неосвітленого $p-n$ - переходу

- Og при невеликій зворотній напрузі збільшення зворотного струму спостерігається за рахунок зменшення дифузної складової.

I – квадрант - фотодіодний режим роботи при прямому включенні.

Фотодіоди відрізняються від фотогальванічних елементів тільки тим, що на них подається зовнішня напруга запираючої полярності (зворотнє зміщення).

3.5 Вентильний фотоелемент [8]

Вентильні фотоелементи виготовляють на основі селену, германію, кремнію, сірчастого срібла [8].

IV – квадрант - фотогальванічний режим роботи[^]

- Oa показує величину струму короткого замикання освітленого фотоелемента;
- Ob відповідає напрузі холостого ходу розімкнутого освітленого фотоелемента, тобто величині фото - Е.Р.С, яка генерується ним;
- ab представляє собою ВАХ фотогальванічного елемента

III – квадрант - фотодіодний режим роботи

- практично повна залежність струму фотодіода від прикладеної напруги;

Вентильний фотоелемент рис. 5.5 представляє собою напівпровідниковий діод, чутливим елементом якого є напівпровідник p – типу (основні носії – дірки) 2, над яким спеціальною обробкою утворений тонкий шар напівпровідника n - типу і тонкий запираючий шар p - n - переходу 3, в якості розділяючого. Зверху напівпровідник покритий напівпрозорим металевим шаром або сіткою із срібла, золота або платини, який виконує роль верхнього електрода 4. Нижнім електродом є металева основа 1.

Під дією світлового потоку, що проникає через напівпрозорий електрод і тонкий шар n – напівпровідника, внаслідок фотоэффекта в p – напівпровіднику утворюється підвищена концентрація електронно – діркових пар. Електрони захоплюються потенційним бар'єром на границі p - n - переходу і безперешкодно проникають в шар n – напівпровідника, заряджаючи його від'ємно, а дірки, що залишилися в p – напівпровіднику, заряджають його позитивно.

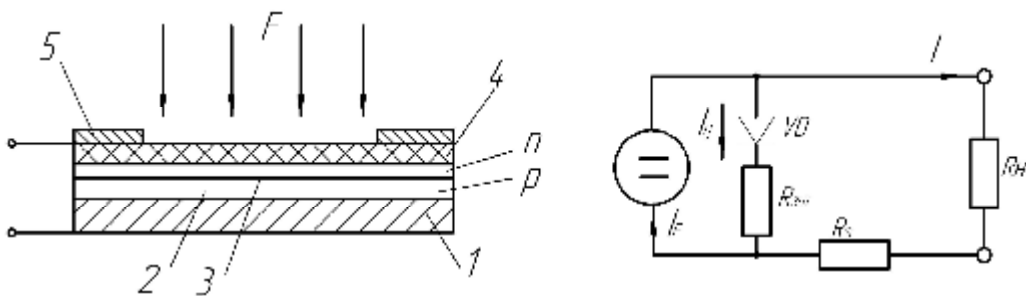


Рисунок 5.5 – Вентильний фотоелемент і його еквівалентна схема [8]

В результаті цього процесу між електродами виникає різниця потенціалів, значення якої залежить від інтенсивності світлового потоку і інтегральної чутливості фотоелемента.

Електричні характеристики вентильних фотоелементів інтерпретують за допомогою спрощеної еквівалентної схеми рис. 5.5, б. Тут фотоелемент представлений як генератор, що включений на діод, опір витoku якого позначено $R_{зи}$ (опір запираючого шару фотоелемента); R_S – послідовний опір, що включений послідовно з навантаженням, шарів напівпровідника, а також перехідний опір контактів.

Позначивши через I_F струм, що генерує фотоелемент, I_y – струм витoku запираючого шару та I – струм у зовнішньому ланцюгу, отримаємо у відповідності з законами Кіргофа:

$$\begin{aligned} I &= I_F - I_y; \\ I_y \cdot R_{зи} &= I \cdot (R_n + R_S) \end{aligned} \quad (5.11)$$

Звідки для струму у зовнішньому ланцюгу знаходимо:

$$I = I_F \cdot \frac{R_{зи}}{R_n + R_{зи} + R_S} \quad (5.12)$$

Падіння напруги на опорі навантаження:

$$U_R = I \cdot R_H = I_F \cdot \frac{R_{зи}}{R_H + R_{зи} + R_S} \cdot R_H \approx I_F \cdot R_H \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_{зи}}} \quad (5.13)$$

Опір запираючого шару вентиляного фотоелемента можна визначити із співвідношення $\frac{U_{xx}}{I_{кз}}$. Виміряти ці величини можна за допомогою компенсаційних схем.

Основні технічні характеристики деяких типів вентиляних фотоелементів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні параметри деяких типів вентиляних фотоелементів

Тип фотоелемента	Інтегральна чутливість, мкА/лм	Внутрішній темновий опір, Ом	Максимальна частота, Гц	Фото – Е.Р.С., мВ
К-5 (селеновий)	205-500	$10^3 \cdot 5 \cdot 10^4$	50-100	-
ФЕСС-2 (сірчано-срібний)	3500-8000	1500-3000	5-10	60-150

3.6 Спектральні характеристики фотодіоду [1]

Фотодіод представляє собою фотогоальванічний приймач випромінення без внутрішнього підсилення, фоточутливий елемент якого містить структуру напівпровідникового діоду.

Найбільш розповсюджені фотодіоди із германію і кремнію.

На рис. 5.6 показані типові спектральні характеристики кремнієвих і германієвих фотодіодів.

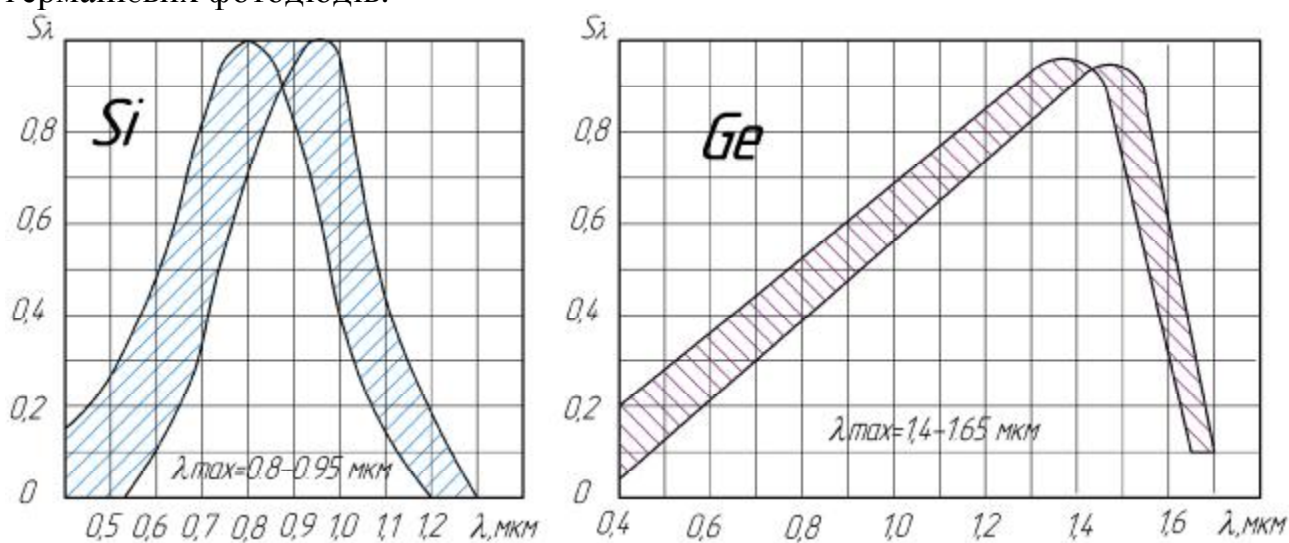


Рисунок 5.6 – Спектральні характеристики кремнієвих і германієвих фотодіодів

Основні параметри кремнієвих і германієвих фотодіодів наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні параметри кремнієвих і германієвих фотодіодів

Тип приладу	Гомір фото чутливого елементу, мм	Діапазон спектральної характеристики /максимум, мкм	Робоча напруга U_p В, не більше	Темновий струм I_s , мкА, не більше	Інтегральна струмова чутливість S_s , мА/лм (мкА/лм) не менше
ФДК-1	Ø1	(0,5-1,1)/(0,8-0,9)	20	3	3
ФД-3К	Ø1,13	(0,5-1,1)/(0,8-0,9)	15	0,5	3
ФД-7К	Ø10	(0,4-1,1)/(0,82-0,86)	27	5	(0,47)
ФД-24К	Ø10	(0,47-1,12)/(0,75-0,85)	27	2,5	6 (0,47)
ФД-256	Ø1,37	(0,4-1,1)/(0,75-0,9)	10	0,005	6 (0,6 А/Вт)
ФД-1	Ø5	(0,4-1,9)/(1,5-1,6)	20	30	6,6
ФД-7Г	Ø2,5	(0,3-1,8)/(1,5-1,55)	10	8	10

4. Виконання роботи

4.1 Опис лабораторної установки [9]

Напруга зміщення на фотодіод подається через контакт К2 від джерела живлення. Полярність напруги зміщення перемикається тумблером К1. Струм через фотодіод і напруга на фотодіоді вимірюється цифровими приладами (амперметром, вольтметром В7-16) відповідно.

За допомогою ключа К2 можна від'єднати фотодіод від джерела постійного зміщення і тоді він буде працювати в вентильному режимі. Послідовно з фотодіодом підключено магазин опорів і додатковий обмежуючий резистор.

Фотодіод освітлюється арсенідогалієвим світлодіодом, який живиться або від внутрішнього джерела постійного струму, або від генератора імпульсів в залежності від положення ключа К5. Джерело постійного струму в залежності від положення ключа К4 задає струм через світло діод 20 або 40 мА. Виключення джерела струму виконується ключем К4.

При імпульсному живленні світло діода сигнал на фотодіоді спостерігається на екрані осцилографа, який підключається замість вольтметра паралельно фотодіоду.

Завдання 1. Зняти вольт-амперну характеристику фотодіода

1. Переключити ключ К2 в положення, для підключення джерела зміщення напруги.
2. Переключити ключ К1 так, щоб підключити фотодіод в зворотному напрямку.
3. Зняти вольт – амперну характеристику фотодіода без освітлення.
4. Зняти вольт – амперну характеристику при двох рівнях освітленості, що пропорційні струму світло діода 20 і 40 мА.

*Примітка. Зворотні гілки характеристик необхідно знімати з інтервалами 1 В до 18 В, з інтервалом 0,1 В поблизу 0 В. Оскільки на прямих гілках є достатньо круті відрізки характеристик, то при знятті їх зручніше не встановлювати напругу і реєструвати струми, а встановлювати струми з вибраним інтервалом, і реєструвати напругу.

5. Із отриманих ВАХ знайти графічно оптимальну величину опору навантаження для використаних рівнів освітленості.

Завдання 2. Зняти залежність струму через навантаження від величини R_n

1. Включити фотодіод в вентильному режимі. Для цього ключем К2 від'єднати фотодіод від джерела живлення.

2. Розрахувати значення напруг на опорі навантаження R_n і побудувати графіки залежності струму і напруги на навантаженні R_n від величини навантаження для обох рівнів освітленості.

3. Знайти опір навантаження, який забезпечує максимальне виділення потужності на ньому при кожному із рівнів освітленості.

Завдання 3. Зняти характеристики наростання і спаду сигналу фотодіода

1. Підключити імпульсне освітлення фотодіода за допомогою ключа К5.

2. Підключити фотодіод в фотодіодному режимі.

3. Зняти характеристику наростання і спаду сигналу фотодіода.

4. Підключити фотодіод в вентильному режимі.

5. Зняти характеристику наростання і спаду сигналу фотодіода.

6. На основі отриманих релаксаційних кривих оцінити час життя нерівно вісних носіїв τ .

Завдання 4. Визначити опір запірного шару

1. Підключити фотодіод в фотодіодному режимі роботи і підключити напругу зміщення в прямій полярності.

2. Підібрати величину напруги живлення так, щоб падіння напруги на фотодіоді (вимірюється вольтметром V) стало рівним нулю.

3. Тоді амперметр покаже величину $I_{кз}$.

4. Підключити фотодіод в фотодіодному режимі роботи і підключити напругу зміщення в зворотній полярності.

5. Напругу на джерелі живлення регулювати так, щоб амперметр А показав відсутність струму в ланцюгу фотоелемента.

6. Напруга виміряна вольтметром V в точках (б – в), дає величину U_{xx} .

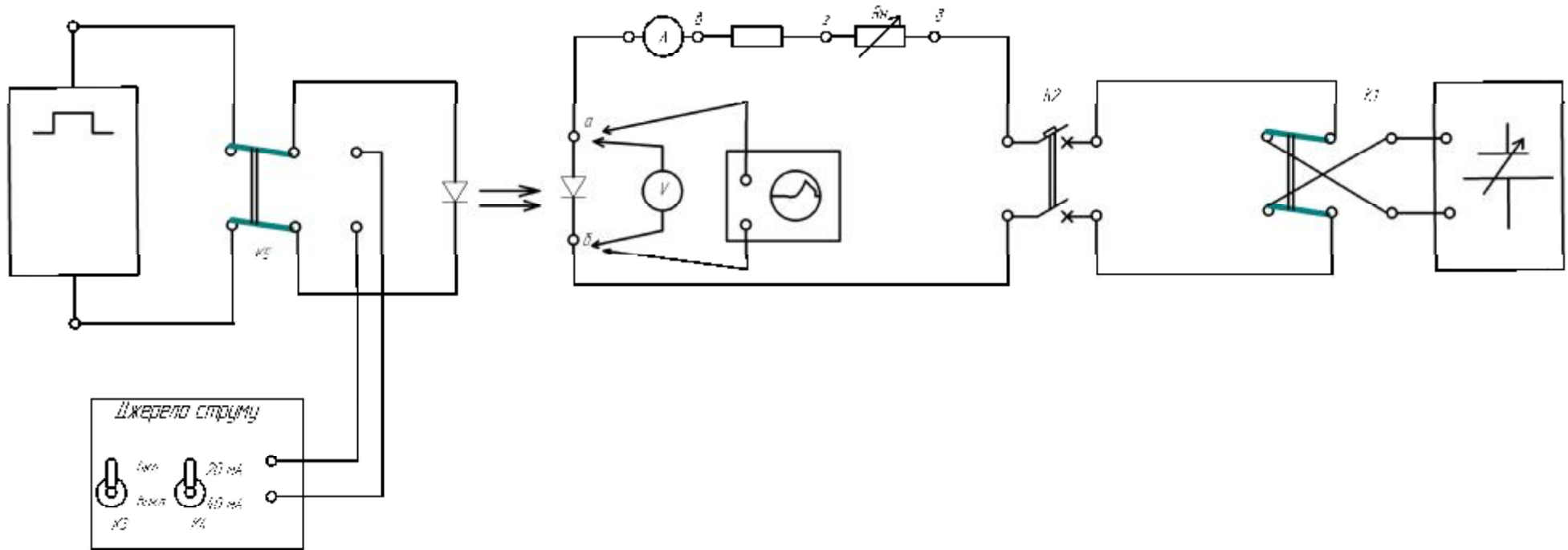


Рисунок 5.7 – Схема лабораторної установки [9]

5. Контрольні питання

1. Який устрій фотодіоду?
2. У чому відмінність вентильного і фотодіодного режиму роботи?
3. Чим визначається максимальне значення фото – Е.Р.С.?
4. Чим визначається інерційність фотодіоду?
5. Що так інтегральна чутливість фотодіоду?
6. Поясніть фізичні процеси, що проходять в фотоелементі при відсутності світлового потоку.
7. Зобразіть схему підключення фотоелементу в фотогальванічному і фотодіодному режимі .
8. Чому фотодіод не використовується при включенні прямого зміщення.

6 Література

1. Оптоэлектронные устройства в радиолобительской практике: Справ. пособие / Ю.А. Быстров, А.П. Гапунов, Г.М. Персианов. – М.: Радио и связь, 1995. – 160 с.
2. Верещагин И.К. и др. Введение в оптоэлектронику: Учеб. пособие для вузов / И.К. Верещагин, Л.А. Косяченко, С.М. Кокин. – М.: Высш. шк., 1991. – 191 с.
3. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.
4. Щука А.А. Электроника. Учебное пособие / Под ред. проф. А.С. Сигова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
5. Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., 1989. – 423 с.
6. Кайдалов С.А. Фоточувствительные приборы и их применение: Справочник. – М.: Радио и связь, 1995 – 120 с.
7. Соболева Н.А., Меламид А.Е. Фотоэлектронные приборы. Учеб. пособие для студентов специальности «Электронные приборы» вузов. – М.: Высшая школа, 1974. – 376 с..
8. Измерительные преобразователи / Е.С. Полищук. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 296 с.
9. Исследование характеристик фотодиода. Методические указания к лабораторным работам. – М., 2003. /<http://fe.miem.edu.ru>.

ДОДАТОК А

Зразок оформлення титульної сторінки

Міністерство освіти і науки України
Черкаський державний технологічний університет
Кафедра комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні

Звіт з лабораторних робіт (з практичних занять)

З дисципліни

“Оптичні та квантові медичні прилади”

Модуль «Геометрична оптика»

Модуль «Фізична оптика»

Керівник

(П.І.П)

Виконав

Студент _____

(П.І.П)

Група

Залікова книжка №

Підпис

Черкаси 2010

ДОДАТОК Б – ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЯКИХ ТИПІВ ЕНДОСКОПІВ

Таблиця Б1 – Технічні характеристики назофаринголарингоскопів [3]

Назва фірм, країн та моделей		Назва характеристики								
		Кут поля зору	Робоча відстань, мм	Діапазон кута вигину дистального кінця	Діаметр дистального кінця, мм	Діаметр гнучкої частини, мм	Діаметр інструментального каналу, мм	Робоча довжина, мм	Загальна довжина, мм	Додаткові дані
Asahi Optical, JP	Pentax FNL-13S	85°	от 3 до 50	130° вверху, 130° вниз	4,1	4,2	–	300	530	от –8 до +2 діоптрій
	Pentax FNL-15P2	85°	от 3 до 50	130° вверху, 130° вниз	4,8	4,9	2,2	300	580	от –8 до +2 діоптрій
Fujinon, JP	NAP-L	90°	от 1 до 550	160° вверху, 90° вниз	3,7	3,7	–	410	680	
Olympus Optical, JP	ENF-T3	85°	от 5 до 50	130° вверху, 130° вниз	4,8	5	2,2	365	585	терапевтичний
Welch Allyn, US	RL-100	75°	от 3 до 50	130° вверху, 130° вниз	3,4	3,4	–	300	немає даних	освітлювач HIn, 150 Вт
R. Wolf, DE	7223.00	95°	от 3 до 50	180° вверху, 90° вниз	3,6	3,6	1,1	400	650	

Таблиця Б2 – Технічні характеристики бронхофіброскопів [3]

Назва фірм, країн та моделей		Назва характеристики								
		Кут поля зору	Глибина різкості, мм	Діапазон кута вигину дистального кінця	Діаметр дистального кінця, мм	Діаметр гнучкої частини, мм	Робоча довжина, мм	Загальна довжина, мм	Діаметр інструментального каналу, мм	Робоча відстань, мм
Оптимед, RU	БрБ-Во-1.30	95°	от 3 до 50	160° вверху, 130° вниз	6	6	550	нет данных	2	немає даних
Asahi Optical, JP	Pentax FB/VB-1530	120°	от 5 до 100	180° вверху, 130° вниз	5,5	4,9	600	880	1,2	немає даних
Fujinon, JP	BRO-Y3S	85°	от 2 до 50	160° вверху, 100° вниз	5,6	5,7	575	770	2	немає даних
Olympus Optical, JP	BF 30/40	120°	от 3 до 50	180° вверху, 130° вниз	5,6	5,9	550	840	2,2	5
Olympus Optical, JP	BF P30/40	120°	от 3 до 50	180° вверху, 130° вниз	4,9	5	550	840	2,2	5
	BF 2T10/40	90°	от 3 до 50	160° вверху, 100° вниз	5,9	6	550	760	2 + 1,5	5

Таблиця Б3 – Технічні характеристики гастрофіброскопів [3]

Назва фірм, країн та моделей		Назва характеристики									
		Кут поля зору	Напрямок огляду	Глибина різкості, мм	Діапазон кута вигину дистального кінця	Діаметр дистального кінця, мм	Діаметр гнучкої частини, мм	Робоча довжина, мм	Загальна довжина, мм	Діаметр інструментального каналу, мм	Робоча відстань, мм
ЛОМО, RU	ГД-Б-ВО-4	100°	0°	от 3 до 100	160° вверху, 90° вниз, 100° направо, 100° наліво	12,3	немає даних	1035	немає даних	2,8	немає даних
Asahi Optical, JP	Pentax FG-29 P	95°	0°	от 5 до 100	210° вверху, 120° вниз, 120° направо, 120° наліво	9,8	9,8	1050	1365	2,8	немає даних
Fujinon, JP	UGI-FP7	105°	0°	от 5 до 100	210° вверху, 90° вниз, 100° направо, 100° наліво	9,5	9,8	1020	1350	2,8	немає даних
	EG-300HR	120°	0°	от 8 до 100	190° вверху, 90° вниз, 100° направо, 100° наліво	11,2	10,5	1100	1410	2,8	немає даних
Olympus Optical, JP	GIF N30	120°	0°	от 3 до 100	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	5	5,3	925	1245	2	2
	GIF G140	140°	0°	от 3 до 100	210° вверху, 90° вниз, 100° направо, 100° наліво	10,4	10,5	1030	1330	2,8	3

Таблиця Б4 –Технічні характеристики дуоденофіброскопів [3]

Назва фірм, країн та моделей		Назва характеристики									
		Кут поля зору	Напрямок огляду	Глибина різкості, мм	Діапазон кута вигину дистального кінця	Діаметр дистального кінця, мм	Діаметр гнучкої частини, мм	Робоча довжина, мм	Загальна довжина, мм	Діаметр інструментального каналу, мм	Робоча відстань, мм
Asahi Optical, JP	Pentax FD-32H	100°	110°	от 3 до 100	135° вверх, 135° вниз, 100° направо, 100° наліво	11	10,7	1250	1575	2,8	немає даних
	Pentax FD-34P	80°	100°	от 4 до 70	120° вверх, 90° вниз, 110° направо, 90° наліво	12,5	11,3	1250	1565	4,2	немає даних
Fujinon, JP	FD 100XU	85°	100°	от 2 до 80	130° вверх, 90° вниз, 110° направо, 90° наліво	12,6	12,1	1290	1610	3,7	немає даних
	ED 410XL	110°	97°	от 5 до 100	130° вверх, 90° вниз, 110° направо, 110° наліво	12,2	11,2	1250	1550	2,8	немає даних
Olympus Optical, JP	JF 20	80°	0°	от 5 до 60	130° вверх, 120° вниз, 110° направо, 90° наліво	11	10,5	1250	1565	2,2	10
	JF 140R	100°	105°	от 5 до 60	120° вверх, 90° вниз, 110° направо, 90° наліво	12,6	11	1235	1530	3,2	10

Таблиця Б5 – Технічні характеристики холодохіфіброскопів [3]

Назва фірм, країн та моделей		Назва характеристики									
		Кут поля зору	Напрямок огляду	Глибина різкості, мм	Діапазон кута вигину дистального кінця	Діаметр дистального кінця, мм	Діаметр гнучкої частини, мм	Робоча довжина, мм	Загальна довжина, мм	Діаметр інструментального каналу, мм	Робоча відстань, мм
Оптимед, RU	ХоБ-ВО-1	60°	0°	от 5 до 50	47° вверх, 47° вниз	6	6	215	немає даних	2	немає даних
Asahi Optical, JP	Pentax FCN-15H	125°	0°	от 3 до 100	160° вверх, 130° вниз	4,8	4,9	350	640	2	немає даних
Fujinon, JP	CHO-SP	90°	0°	от 2 до 50	110° вверх, 110° вниз	4,8	4,9	400	700	2	немає даних
Olympus Optical, JP	CHF P20Q	120°	0°	от 3 до 50	160° вверх, 130° вниз, 90° направо, 90° наліво	5	5,2	380	670	2	5
	CHF T20	120°	0°	от 3 до 50	130° вверх, 100° вниз	6	6	380	670	1,2 + 2,6	5
	CHF XP20	120°	0°	от 3 до 50	160° вверх, 130° вниз	3,5	3,7	450	740	1,2	5

Таблиця 6 – Технічні характеристики колонофіброскопів [3]

Назва фірм, країн та моделей		Назва характеристики									
		Кут поля зору	Напрямок огляду	Глибина різкості, мм	Діапазон кута вигину дистального кінця	Діаметр дистального кінця, мм	Діаметр гнучкої частини, мм	Робоча довжина, мм	Загальна довжина, мм	Діаметр інструментального каналу, мм	Робоча відстань, мм
ЛОМО, RU	КД-Б-ВО-1	100°	0°	немає даних	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	12,2	12,2	1330	немає даних	2,8	немає даних
Asahi Optical, JP	Pentax FC-34FH	120°	0°	от 3 до 100	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	11,5	11,5	1500	1825	3,8	немає даних
Fujinon, JP	FC-100MR	125°	0°	от 5 до 100	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	13	13	1520	1840	3,2	немає даних
	EC-410WM	140°	0°	от 6 до 100	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	13	13	1330	1630	3,2	немає даних
Olympus Optical, JP	CF 1T20L	120°	0°	от 5 до 100	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	14,3	13,7	1680	2000	4,2	5
	CF-E1	120°	0°	от 5 до 100	180° вверху, 180° вниз, 160° направо, 160° наліво	13	13,3	1330	1650	3,2	3

ДОДАТОК В – КОНСТРУКЦІІ ДЕЯКИХ ТИПІВ СВІТЛОДІОДІВ ТА ІНФРАЧЕРВОНИХ СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ ДІОДІВ

СВЕТодиоды



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Макс. прямое напряжение: 2,5 В
 Макс. прямой ток: 20 мА
 Макс. обратный ток: 0,5 В
 Диапазон рабочих температур: -40...+80°C

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. Цвет
 2. Цвет корпуса и корпус (11 мм) и 2. Корпус (10 мм) и 2. Корпус (10 мм) и 2. Корпус (10 мм)
 3. Цвет корпуса и корпус (10 мм) и 2. Корпус (10 мм) и 2. Корпус (10 мм)
 4. Цвет корпуса и корпус (10 мм) и 2. Корпус (10 мм) и 2. Корпус (10 мм)
 5. Тип корпуса: Т – цилиндрический, П – плоский (прямой), С – цилиндрический

КРУГЛЫЕ ДИОДЫ

L-1000
 Ø 3 мм

L-1464
 Ø 2 мм

L-034, L-034-UV, L-034-UV
 Ø 2 мм

L-034E
 Ø 2 мм

L-192
 Ø 3 мм

L-1344
 Ø 3 мм

L-44
 Ø 4 мм

L-53, L-53-UV, L-53-UV
 Ø 3 мм

L-53E
 Ø 3 мм

L-1000, L-1000E
 Ø 3 мм

L-1010, L-1010E
 Ø 3 мм

L-1040, L-1040E
 Ø 3 мм

L-50
 Ø 5 мм

L-164
 Ø 5 мм

L-1100
 Ø 5 мм

L-100E
 Ø 5 мм

L-769, L-769E
 Ø 5 мм

L-790
 Ø 5 мм

L-813, L-813E
 Ø 5 мм

DLA6-DLC6
 Ø 3 мм

Диоды с плоской поверх.

L-1204
 2x5 мм

L-1034
 2x5 мм

L-13
 2x5 мм

L-440
 2x4 мм

Цилиндрические диоды

L-400
 2x5 мм

L-480
 2x5 мм

ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ДИОДЫ

L-1050
 1 x 5 мм

L-1060
 1,1 x 3,4 мм

L-614
 2 x 5 мм

L-115
 2 x 5 мм

L-170
 2,4 x 5 мм

L-510
 2,5 x 5 мм

L-704
 2 x 5 мм

L-345
 3 x 2,5 мм

L-1050
 5 x 5 мм

L-500
 5 x 5 мм

ДВУХЦВЕТНЫЕ ДИОДЫ

L-2W
 Ø 3 мм

L-027
 Ø 3 мм

L-000
 Ø 3 мм

L-87
 Ø 3 мм

L-50
 Ø 5 мм

L-700
 Ø 5 мм

L-010
 Ø 10 мм

L-117
 2 x 5 мм

L-110
 2 x 5 мм

L-200
 2 x 5 мм

МИГАЮЩИЕ ДИОДЫ

L-795E
 Ø 5 мм

L-0100
 Ø 10 мм

L-660
 Ø 5 мм

L-36
 Ø 5 мм

ТРЕХЦВЕТНЫЕ ДИОДЫ

LF-0
 Ø 5 мм

LF-01
 Ø 10 мм

ИК ДИОДЫ И ФОТОТРАНЗИСТОРЫ Kingbright

ИНФРАКРАСНЫЕ ДИОДЫ

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. Тип
 2. Размер, Ø x L, мм
 3. Длина волны, нм
 4. Тип корпуса
 5. Тип корпуса: DT – корпус прозрачный, C – бескорпусный

KA-3520
 2,5 x 2,0 мм

L-54
 Ø = 3 мм

KPL-3015
 3,0 x 1,5 x 1,4 мм (1700)

KPL-3010
 3,0 x 1,0 x 2,0 мм (1104)

L-53
 Ø = 5 мм

KM-44770C
 4,3 x 5,7 x 1,5 мм

KM-0220
 Ø = 2 мм

ФОТОТРАНЗИСТОРЫ

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. Тип
 2. Размер, мм
 3. Тип корпуса: DT – корпус прозрачный, C – бескорпусный

KP-3218PS

L-3203C
 Ø = 5 мм
 I_{max} = 100 мА

L-53P3C
 Ø = 5 мм
 I_{max} = 100 мА

L-010MP4BT, BD
 фото-транзистор
 5,0 x 5,0 мм

KP-3210P3C
 3,0 x 1,5 x 1,4 мм (1700)

KP-0210
 3,2 x 1,2 мм

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Напряжение пробоя: 30 В
 Коллекторный ток: 5 В
 Макс. ток коллектора: 120 мА
 Раб. ток коллектора: 0,5 мА

ИНФРАКРАСНЫЕ ИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ



СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. Тип излучающей поверхности
 2. Серия
 3. Длина волны (нм)
 4. Тип корпуса
 5. Тип корпуса: DT – корпус прозрачный, C – бескорпусный

TS A L 4 4 00

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наименование	Угол излучения, °	Длина волны, нм	Макс. ток излучения, мА	Макс. обратный ток, мА	Пиковая мощность излучения, мВт	Средняя мощность излучения, мВт	Средняя температура, °C	Выпуск
TM46-0200	40	940	50	100	1,0	300	800	1
TM46-0100	20	940	50	100	1,0	300	800	2
TM46-0300	44	940	50	100	1,0	300	800	3
TM46-0400	54	940	50	100	1,0	300	800	4
TM46-0500	40	940	50	100	1,0	300	800	5
TM46-0600	24	940	50	100	1,0	300	800	6
TM46-0700	18	940	50	100	1,0	300	800	7

ДОДАТОК Г – ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ ДІОДІВ

Таблиця Г1 – Фотометричні та електричні параметри світловипромінюючих діодів із спрямованим випроміненням

Тип приладу	Конструкція	Колір світіння та довжина хвилі, мкм	Сила світла I_n , мкд			Постійна пряма напруга, U_{np} , В	Постійний пр. струм I_{np} , мА
			мін.	тип.	Макс		
АЛ102А	металоскляний корпус	червоний 0,69	0,04	0,1	0,15	2,8	5
АЛ102Б		червоний 0,69	0,1	0,2	0,25	2,8	10
АЛ102В		зелений 0,56	0,25	0,3	0,5	2,8	20
АЛ102Г		червоний 0,69	0,2	0,25	0,5	2,8	10
АЛ102Д		зелений 0,56	0,4	0,75	1,5	2,8	20
ЗЛ102А		червоний 0,69	0,02			3,0	5
ЗЛ102Б		червоний 0,69	0,10			3,0	10
ЗЛ102В		зелений 0,56	0,25			2,8	20
ЗЛ102Г		червоний 0,69	0,06			3,0	10
ЗЛ102Д		червоний 0,69	0,20			3,0	10
ЗЛ341А		металоскляний корпус	червоний 0,69-0,71	0,15			2,8
ЗЛ341Б	червоний 0,69-0,71		0,5			20	
ЗЛ341В	зелений 0,55-0,56		0,15			22	
ЗЛ341Г	зелений 0,55-0,56		0,5			22	
ЗЛ341Д	жовтий 0,68-0,7 0,55-0,56		0,15			22	
ЗЛ341Е	жовтий 0,68-0,7; 0,55-0,56		0,5			22	
АЛ360А	металоскляний корпус	зелений 0,55-0,56	0,3			1,7	20
АЛ360Б			0,6				
ЗЛ360А			15				
ЗЛ360Б			10				
ИПД04А-1К	металоскляний корпус	червоний 0,7	15			2	30
ИПД04Б-1К			10				
КЛД901А	металоскляний корпус	синій 0,466	0,15			12	6

Таблиця Г2 – Світловипромінюючі діоди з розсіяним випромінення

<i>Тип приладу</i>	<i>Конструкція</i>	<i>Колір світіння та довжина хвилі, мкм</i>	<i>Сила світла I_n, мкД</i>	<i>Постійна пряма напруга, U_{np}, В</i>	<i>Постійний прямий струм I_{np}, мА</i>		
АЛ307А	пластмасовий корпус	червоний 0,665	0,15	2	20		
АЛ307Б		червоний 0,665	0,9				
АЛ307В		зелений 0,567	0,4	2,8	22		
АЛ307Г		зелений 0,567	1,5				
АЛ307Д		жовтий 0,56; 0,7	0,4	2,5			
АЛ307Е			1,5				
АЛ307Ж			3,5				
АЛ307К		червоний 0,665	2	2		20	
АЛ307Н		зелений 0,567	6	2,8		22	
АЛ316А		пластмасовий з лінзою	червоний 0,67	0,8		2	20
ЗЛ316А	0,25						
КИПД01А	пластмасовий	зелений 0,55-0,56	0,8	7		12	
КИПД01Б			0,6				
КИПД02А		червоний 0,7	0,4	2,8	20		
КИПД02Б			0,9				
КИПД02В		зелений 0,55	0,25	2,5			
КИПД02Г			0,5				
КИПД02Д		жовтий 0,63	0,25				
КИПД02Е			0,65				
КИПД05А		пластмасовий	червоний 0,7	0,2		1,8	6
КИПД05Б			зелений 0,55	0,1		2,5	
КИПД05В	жовтий 0,63						

Таблиця Г3 – Параметри арсенід галієвих світловипромінюючих діодів інфрачервоного спектру

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ											
Назва	максимум спектрального розподілу, мкм	Потужність випромінення, мВт			Пост. пр. напр., макс., В	Пост. зв. напр., макс., В	Пост. прямої струм, макс., мА	Імпульсний прямий струм, макс., мА	t_u , мкс	Сквасженість, Q	Тип корпусу
Випромінюючі діоди ІЧ-діапазону в металоскляному корпусі											
АЛ106А	0,92-0,935	0,2			1,7		100				метало скляний
АЛ106Б		0,4									
АЛ106В		0,6									
АЛ106Г		1,0									
АЛ106Д		1,5									
АЛ119А	0,93-0,96	40			3,0	2,0	300				
ЗЛ119А											
АЛ120А	0,88	0,8			2,0	1,0	55	200	40		
ЗЛ120А											
АЛ120Б		1,0									
ЗЛ120Б											
АЛ124А	0,86	4			2	2	110	1000	15	3	
ЗЛ124А											
ЗЛ130А	0,95	350 при $I_{np} = 3 A$ 200 при $I_{np} = 2 A$			3,0	1,0	3000				метало керамічний
ЗЛ136А	0,81	0,6			2,0	5,0	60	80	20		
АЛ137А		0,22			3,0						
ЗЛ137А		0,5			2,4						
ЗЛ138А		0,4									
АЛ402А	0,69-0,7	0,05	10	при $I_{np} = 3 A$ $t_i = 50 нс$	-	-	12	3100	50	2000	метало скляний
АЛ402Б		0,025	5								
АЛ402В		0,015	3								

Випромінюючі діоди ІЧ-діапазону в пластмасовому корпусі									
АЛ107А	0,94-0,96	6,0	1,8	2	100	600	50	36	пластмасовий
ЗЛ107А			2	6		1000	50	20	
АЛ107Б		10,0	1,8	2		600	50	36	
ЗЛ107Б			2	6		1000	50	20	
АЛ108А	0,94	1,5	1,35	2,0	110	10000	20	200	
ЗЛ108А		2,0	1,6			2000	20	60	
АЛ108АМ						10000	20	200	
ЗЛ108А1									
АЛ115А	0,9-1,0	10	2,0	4,0	50				
ЗЛ115А									
АЛ118А	0,85-0,875	2	1,7	2	50	500	50	20	
ЗЛ118А	0,82-0,9								
ЗЛ129А	0,83-0,89	1,3 при $I_{np} = 50 \text{ мА}$ 5,0 при $I_{np} = 200 \text{ мА}$		2	1	100	250	32	4
Діоди ІЧ-діапазону для оптичних ліній									
АЛ132А	1,26	10 мкВт	2,0	1,0	50	1000	15		металевий
ЗЛ132А									
ЗЛ135А	0,82-0,9	150 мкВт	2,0	2,0	100	500	100	5	
Безкорпусні випромінюючі діоди ІЧ-діапазону									
АЛ103А	0,95	1,0	1,6	2,0	52				безкорпусні
ЗЛ103А									
АЛ103Б		0,6		2,0					
ЗЛ103Б									
АЛ109А	0,94	0,2	1,2	22					
АЛ109А-1		0,4	1,7						
ЗЛ127А-1	0,75	0,06	2,0	4,0	15	100	10	20	
ЗЛ127А-5									
ЗЛ128А-1	0,86	1,0	1,8	2,0	25				
АЛ136А-5	0,82	0,6	1,9	5,0	60	80	20		
ЗЛ136А-5			2,0						

ДОДАТОК Д – ОПТИЧНІ ПОСТІЙНІ [6]

Марка скла	Показник заломлення		Середня дисперсія		Щільність, г/см ³
	n_e	n_D	$(n_{F'} - n_{C'}) \cdot 10^5$	$(n_F - n_C) \cdot 10^5$	
ТК21	1,6600	1,6568	1299	1285	3,98
СТК3	1,6622	1,6594	1160	1150	3,91
СТК9	1,7460	1,7424	1492	1478	4,11
БФ6	1,5724	1,5696	1164	1152	3,16
БФ11	1,6251	1,6222	1183	1171	3,66
БФ16	1,6744	1,6709	1435	1419	4,02
ТБФ4	1,7836	1,7786	2072	2045	4,46
Ф1, Ф101	1,6179	1,6138	1681	1659	3,57
Ф102	1,6210	1,6169	1707	1684	3,6
Ф4	1,6285	1,6242	1762	1738	3,67
Ф104	1,6290	1,6247	1762	1738	3,67
Ф6	1,6070	1,6031	1611	1590	3,48
Ф9	1,6180	1,6137	1801	1775	2,93
Ф13	1,6241	1,6199	1730	1706	3,63
ТФ1, ТФ101	1,6522	1,6475	1940	1912	3,86
ТФ2	1,6776	1,6725	2118	2087	4,09
ТФ3	1,7232	1,7172	2469	2431	4,46
ТФ103	1,7237	1,7177	2469	2431	4,46
ТФ104	1,7462	1,7398	2662	2623	4,65
ТФ5, ТФ105	1,7617	1,7550	2788	2743	4,77
ТФ7	1,7343	1,7280	2611	2570	4,52
ТФ10, ТФ110	1,8138	1,8060	3233	3178	5,19
ОФ1, ОФ101	1,5319	1,5294	1032	1022	2,56
ОФ4	1,6541	1,6505	1513	1494	3,48

Ф – флінт, ТФ – тяжкий флінт, ОФ – особливий (з особливим ходом дисперсії) флінт ГОСТ 3514-76

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

А

Атомно-абсорбційний аналіз – це аналіз, що заснований на поглинанні світлової енергії атомами речовини, що аналізується.

В

Випромінювач – прилад, що перетворює електричну енергію збудження в енергію оптичного випромінювання заданого спектрального складу і просторового розподілу.

Внутрішнім фотоефектом називається явище, при якому електрони, що знаходяться в валентній зоні напівпровідника або зоні домішкового рівня, при поглинанні світла збуджуються і переходять в зону провідності.

Вентильним фотоелементом називаються фотоелектричні приймачі, в яких під дією випромінювання виникає фото Е.Р.С. на границі двох контактуючих матеріалів.

Вольт-амперна характеристика відображає залежність струму фотоприймача від прикладеної до нього напруги; світловий (загальний) струм $I = I_s + I_f$, де I_s – струм при відсутності освітлення (темновий струм), I_f – фотострум.

Вольтова чутливість S_U характеризує значення сигналу в вольтах, віднесене до одиниці падаючого потоку випромінювання. Струміву і вольтову чутливість називають **інтегральною**, якщо вона характеризує чутливість до інтегрального потоку випромінювання.

Вентильний режим роботи – режим при якому фотодіод закорочений опором навантаження R_n без використання додаткового джерела зміщення.

Г

Головні площини - дві спряжені площини, що розташовані перпендикулярно до оптичної вісі, для яких лінійне збільшення ± 1 .

Головними точки системи - точки перетину головних площин з оптичною віссю.

Граничні характеристики показують здатність фото приладу реєструвати випромінювання малої інтенсивності.

Гранична чутливість R_{zp} визначає рівень потужності світлового потоку, при якому сигнал дорівнює шуму.

Д

Дисперсією оптичного обертання називається залежність $[\varphi_0]$ від довжини хвилі λ , визначається законом Біо: $[\varphi_0] \approx \frac{1}{l^2}$.

Діаграма спрямованості – визначається конструкцією діоду, наявністю лінзи, оптичними властивостями матеріалу, що захищає кристал. Діаграми, що наводяться в довідникових даних, показують зменшення сили світла в залежності від кута, під яким ведеться спостереження випромінювання.

Динамічний діапазон лінійності характеризує область значення променевого потоку Φ (від Φ_{\min} до Φ_{\max}), в якій енергетична характеристика лінійна:

$$\Delta = 10 \lg \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}}.$$

Диференційний опір R_0 – відношення малих приростів напруги на приладі і струму через нього.

Е

Енергетична (світлова) характеристика відображає залежність фотовідповіді приладу від інтенсивності збуджуючого потоку випромінювання (ампер-ватна, вольт-ватна, люкс-амперна характеристика). Енергетичною характеристикою називають також залежність інтегральної або спектральної чутливості приладу від інтенсивності опромінювання.

З

Задній фокус оптичної системи – це точка F' на оптичній вісі в просторі зображення, спряжена з нескінченно віддаленою точкою в просторі предметів.

Задня фокальна площина оптичної системи - площина, яка проходить через задній фокус і перпендикулярна до оптичної вісі.

Заломлюючою призмою називається оптична деталь, що обмежена двома заломлюючими непаралельними площинами.

Заломлюючим ребром призми називається лінія перетину заломлюючих площин (ребро двохгранного кута).

Закон Бугера-Ламберта-Бера описує ослаблення потоку монохроматичного випромінювання, що пройшло крізь шар речовини товщиною l .

Зовнішньою квантовою ефективністю випромінювання (квантовим виходом), називається відношення числа випромінених у прості фотонів до числа неосновних зарядів, що інжектували через $p-n$ – перехід.

Зовнішнім фотоефектом або фотоелектронною емісією називається випуск електронів речовиною під дією падаючого на його поверхню випромінювання.

І

Інерційність приладу характеризують постійні часу збільшення τ_z і спаду $\tau_{сп}$ фотовідклику при імпульсі випромінювання. При синусоїдальній модуляції світлового потоку швидкодію приладів характеризують граничною частотою, на якій фотовідклик зменшується до рівня 0,7 стаціонарного значення.

К

Кардинальні елементи оптичної системи – це фокуси, фокальні площини, головні площини, головні точки та фокусні відстані.

Кутовим збільшенням оптичної системи називається відношення тангенсів кутів, утворених спряженими променями з оптичною віссю.

Кутом відхилення ω називається кут між променем, що відхиляється від початкового напрямку.

Кут q_{max} (числова апертура NA (Numerical Aperture)) – це максимально можливий кут, під яким світло може проходити в оптичне волокно, тобто прийматися ним.

Концентрична лінза – лінза, у якої центри кривизни поверхонь співпадають.

Кутова дисперсія - залежність кута відхилення від довжини хвилі.

Короткохвильова (довгохвильова) границя спектральної чутливості – найменша (найбільша) довжина хвилі монохроматичного випромінювання, при якій монохроматична чутливість приладу дорівнює 0,1 від її максимального значення.

Л

Лінзою називається оптична деталь, обмежена двома заломлюючими поверхнями.

Люмінесцентний (флюорометричний) аналіз – це аналіз, що заснований на вимірюванні випромінення, що виникає в результаті виділення енергії збудженими молекулами аналізованої речовини.

Лінійно-поляризована хвиля - якщо при розповсюдженні електромагнітної хвилі світловий вектор зберігає свою орієнтацію.

Люмінесценцією називають випромінення, надлишкове відносно теплового при даній температурі, що продовжується після припинення збудження протягом часу, що перевищує період світлової хвилі (10^{-14} с).

М

Меніск – це лінза з радіусами кривизни одного знаку.

Молекулярний абсорбційний аналіз - аналіз поглинання світла молекулами речовини, що аналізується в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектру (спектрофотометрія, фотоколориметрія, ІЧ-спектроскопія).

Монохроматор - пристрій, в якому через декілька вихідних щілин пропускають лише невелику спектральну смугу.

Максимально допустимий постійний прямий струм $I_{пр.мах}$ – максимальне значення постійного прямого струму, при якому забезпечується задана надійність при тривалій роботі діода.

Максимально допустима зворотня постійна напруга $U_{зв.мах}$ – максимальне значення постійної напруги, що прикладена до діоду, при якому забезпечується задана надійність при тривалій роботі діода.

Максимум спектрального розподілу $I_{мах}$ – довжина хвилі світлового випромінення, що відповідає максимуму спектральної характеристики випромінення світло діода.

Максимум спектральної характеристики чутливості – довжина хвилі, що відповідає максимуму чутливості приладу.

Максимально допустима напруга $U_{мах}$ – значення постійної напруги, при якій відхилення параметрів приладу не перевищують встановлених меж.

О

Оптичною силою системи називається відношення показника заломлення середовища до відповідного фокусної відстані.

Оптичною активністю називається обертання площини поляризації світла при проходженні крізь оптично активні речовини.

П

Передній фокус оптичної системи – це точка F на оптичній вісі в просторі предметів, спряжена з нескінченно віддаленою точкою в просторі зображення.

Передня фокальна площина - площина, перпендикулярна до оптичної вісі, яка проходить через передній фокус.

Поляризованим називається випромінювання, в якому коливання вектора E відбувається лише в одному напрямку.

Площина коливання - площина, в якій коливається світловий вектор \dot{E} .

Площина поляризації - площина, в якій здійснює коливання магнітний вектор \dot{B} .

Питоме обертання - оберт площини поляризації променів, що викликано пластинкою кристалу товщиною в 1 мм.

Постійна пряма напруга U_{np} – значення напруги на світло діоді при протіканні постійного прямого струму.

Приймач випромінювання - пристрій, що служить для сприйняття енергії випромінювання і перетворення її в енергію інших видів з метою наступної реєстрації результату цього перетворення.

Потужність розсіювання - потужність, що виділяється при проходженні фотоструму; вона визначає розігрівання приладу.

Р

Рефрактометрія - метод вимірювання показника заломлення. Він широко використовується як метод кількісного аналізу в клінічних дослідженнях, біохімії, харчовій промисловості та інших напрямках лабораторного аналізу.

Робоча напруга U_p - постійна напруга, що прикладена до приладу, при якому забезпечені номінальні параметри при тривалій роботі в заданих експлуатаційних умовах.

С

Спектрофотометричний метод – аналіз за поглинанням монохроматичного світла.

Світлофільтр – пристрій, що слугує для виключення окремих спектральних ліній із загального спектру випромінювання смугових випромінювачів або для виділення якої-небудь області із неперервного спектру.

Світлодіодом називають випромінюючий напівпровідниковий прилад з одним електронно-дірковим переходом, який призначений для безпосереднього перетворення електричної енергії і енергію некогерентного світлового випромінювання.

Сила світла I_v - світловий потік, що випромінюється діодом, який приходить на одиницю тілесного кута в напрямку, перпендикулярному площині випромінюючого кристалу. Вказується при заданому значенні прямого струму і вимірюється в канделах (кд).

Світлова характеристика $I_v = f(I_{np})$ - залежність сили світла від прямого струму.

Спектральна характеристика – виражає залежність інтенсивності випромінювання від довжини хвилі. Довжина хвилі випромінюючого світла визначається різницею енергій двох енергетичних рівней, між якими проходить перехід електронів на випромінюючому етапі процесу рекомбінації і визначається вихідним матеріалом і легуючими домішками.

Спектральна характеристика чутливості відображає реакцію фотоприладу на дію випромінювання з різною довжиною хвилі. Ця характеристика визначає спектральну область використання приладу, його спектральну і інтегральну чутливість.

Струмова чутливість S_I (А/лм або А/Вт) визначає значення фотоструму, що створюється одиничним потоком випромінювання.

Т

Турбідиметрія, нефелометрія - аналіз поглинання і розсіювання світлової енергії **взвешеними** частинками речовини, що аналізується.

Темновий струм I_S – струм, що проходить через прилад при вказаній напрузі при відсутності потоку випромінювання в межах спектральної чутливості.

Темновий опір R_T - опір приладу при відсутності падаючого на нього випромінювання в межах його спектральної чутливості.

Температурні характеристики визначають залежність параметрів приладу (темновий струм, темновий опір, чутливість) від температури оточуючого середовища. Робочий температурний інтервал вказують в паспорті приладу.

Ф

Фокальні площини системи – площини, проведені перпендикулярно головній оптичній вісі через точки F та F' .

Фотоколориметрія і спектрофотометрія засновані на взаємодії випромінювання з однорідними системами, і їх об'єднують в групу фотометричний методів аналізу.

Фотоколориметричний метод – аналіз за поглинанням поліхроматичного (немонохроматичного) світла в видимій обласні спектра.

Фотометри - це прилади для вимірювання потоку випромінювання від середовищ, що випускають або поглинають випромінювання.

Фотопровідність – це зміна провідності напівпровідників під дією випромінювання.

Фоторезистор - напівпровідниковий прилад, принцип дії якого заснований на явищі фотопровідності.

Фотогальванічний ефект – це утворення фото Е.Р.С. при освітленні напівпровідникових систем.

Фотодіод – напівпровідниковий приймач світла, принцип дії заснований на зміні струму через p - n - перехід при освітленні його світлом з довжиною хвилі, що відповідає області власного поглинання напівпровідникового матеріалу діода.

Фотодіодний режим - якщо на фотодіод подається від'ємне зовнішнє зміщення $U_{зм}$.

Ч

Частотні характеристики описують залежність чутливості від частоти модуляції випромінювання або тривалості імпульсів і характеризують інерційність приладу.

Я

Яскравість L – величина, рівна відношенню сили світла до площі освітленої поверхні. Вимірюється в канделах на квадратний метр ($\text{кд}/\text{м}^2$) при заданому значенні прямого струму через діод.

Яскравісна характеристика $L = f(I_{np})$ - залежність яскравості від прямого струму.