ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема: Вивчення роботи спектрального приладу.

Мета: Ознайомитися з будовою спектрофотометру, видами практичного застосування законів фотометрії та програмним забезпеченням. **Обладнання:** спектрофотометр UNICO 2100.

5.1 Теоретична частина

5.1.1 Застосування фотометричних методів в медико-біологічних дослідженнях

Оптичні методи дослідження речовини базуються на здатності цієї речовин утворювати оптичне випромінювання або взаємодіяти з ним. **Фотометрія** – сукупність оптичних методів і засобів вимірювання фотометричних величин світлового потоку. У медичній клінічній лабораторній діагностиці широке застосування знайшли фотометричні методи кількісного аналізу. Вони базуються на перетворенні досліджуваних компонентів в сполуки, котрі поглинають світло, і наступному визначенні їх кількості вимірюванням світлопоглинання цих сполук (розчинів).

За допомогою фотоелектричних приймачів оптичного випромінювання можна визначати концентрацію компонентів забарвлених розчинів. Якщо дослідження ведеться без виділення вузького діапазону довжин хвиль, тобто вимірюються характеристики усього світлового потоку, то такий метод аналізу називають колориметричним. Якщо ж виділяється характерний для поглинання конкретною речовиною оптичний діапазон і вимірювання

проводиться на певній довжині хвилі, то метод аналізу називають фотометричним. Фотометричний метод є більш об'єктивним методом ніж колориметричний, оскільки результати його менше залежать від поглинання світла іншими забарвленими речовинами розчину.

Фотометричні властивості розчиненої речовини характеризуються коефіцієнтом пропускання $T(\tau)$, коефіцієнтом відбиття $R(\rho)$ і коефіцієнтом поглинання $A(\alpha)$, які для однієї і тієї ж речовини пов'язані співвідношенням:

$$T + R + A = 1. (5.1)$$



Визначення безрозмірних величин *T*, *R* та *A* здійснюється за допомогою фотометрів (приладів для вимірювання фотометричних величин) внаслідок реєстрації реакцій приймача оптичного випромінювання на відповідні потоки випромінювання.

Фотометричні методи застосовуються також у тих випадках, коли визначається здатність речовин розсіювати (нефелометрія) і пропускати випромінювання (турбідиметрія), перевипромінювати поглинене випромінювання (флуориметрія), змінювати величину поляризації випромінювання при проходженні його через оптично активні речовини (поляриметрія). Оптичні методи застосовуються для вивчення стану біологічних систем і їх зміни в процесах асоціації-дисоціації, взаємодії з іншими молекулами, утворення і розпаду комплексів фермент-субстрат,

антиген-антитіло, білок-ліпід, білок-нуклеїнова кислота; фотофізичних і фотохімічних процесів і так далі.

Висока чутливість, точність, швидкодія і зручність використання для досліджень зумовлюють широке застосування оптичних методів в клінічній лабораторній діагностиці.

5.1.2 Фізичні принципи та методи фотометрії

5.1.2.1 Закон поглинання світла

При проходженні через речовину світло поглинається, змінюючи при цьому свою інтенсивність. Нехай паралельний пучок монохроматичного випромінювання з частотою ν і початковою інтенсивністю I_0 нормально падає на плоский шар ізотропної однорідної речовини товщиною l (рис. 5.1). Розділимо увесь шар речовини на елементарні шари товщиною dx, які фізично вважатимемо нескінченно вузькими. Зміна інтенсивності світлової хвилі dI_x внаслідок поглинання в такому вузькому шарі мала в порівнянні з величиною інтенсивності I_x .

Відносна зміна інтенсивності світла dI_x/I_x в кожному такому шарі dx не залежить від інтенсивності і пропорційна товщині цього шару:

$$\frac{dI_x}{I_x} = -k \cdot dx,\tag{5.2}$$

де k - коефіцієнт пропорційності, а мінус показує зменшення інтенсивності.



Рисунок 5.1 Зміна інтенсивності паралельно пучка світла в плоскому шарі ізотропної однорідної речовини

Для обчислення повного поглинання світла в шарі речовини кінцевої товщини l потрібно цей вираз проінтегрувати, узявши в лівій частині межі від I_0 до I_l , а в правій - від 0 до l, відповідно (5.3):

$$\int_{I_l}^{I_0} \frac{dI_x}{I_x} = -\int_0^l k \cdot dx.$$
 (5.3)

У результаті отримаємо:

$$ln\frac{I_l}{I_0} = -k \cdot l \tag{5.4}$$

або

$$I_l = I_0 \cdot e^{-k \cdot l}. \tag{5.5}$$

Вираз (5.5) називається законом Бугера, де величина k – коефіцієнт поглинання. Коефіцієнт поглинання речовини має розмірність [L⁻¹] і характеризує таку товщину шару будь-якої речовини, яка ослаблює інтенсивність монохроматичного випромінювання, що проходить через неї, в *е* разів.

Відомо, що поглинання світла тонким шаром однорідного середовища пропорційно числу молекул, а відтак і концентрації. У разі слабких розчинів при непоглинаючому розчиннику коефіцієнт поглинання пропорційний концентрації (закон Бера):

$$k = a \cdot C, \tag{5.6}$$

де *С* - концентрація, а *а* - коефіцієнт пропорційності, який залежить від довжини хвилі світла і від властивостей молекул розчиненої речовини.

Тоді закон Бугера-Бера запишеться як:

$$I_l = I_0 \cdot e^{-a \cdot C \cdot l}. \tag{5.7}$$

Якщо довжину кювети виражають в [сантиметрах], концентрацію розчину в [моль/л], то *а* називають молярним показником поглинання та позначають ε_{λ} . Розмірність молярного показника поглинання [л/(моль·см)], а його чисельне значення рівне оптичній щільності D розчину з концентрацією 1 моль/л при довжині кювети 1 см. Використання для концентрації *С* розмірності [моль/м³] і вимірювання *l* в метрах призводять до розмірності молярного показника поглинання ε_{λ} буде менша в 10 разів. Молярний показник поглинання ε_{λ} є константою даного розчину речовини при цій довжині хвилі оптичного випромінювання з певною температурою, рН, розчинником і т.д.

Врахувавши вище сказане, вираз (5.7) можна записати як:

$$I_l = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon_\lambda \cdot C \cdot l}. \tag{5.8}$$

Показник степені зі знаком «+» називається оптичною щільністю розчину *D* та має наступний вигляд:

$$D = \varepsilon_{\lambda} \cdot C \cdot l \,. \tag{5.9}$$

З формул (5.7) і (5.8) випливає, що експериментально визначивши відношення інтенсивності світла, що падає на зразок та пройшло крізь нього, можна визначити концентрацію речовини, якщо відомий молярний коефіцієнт поглинання ε_{λ} . Вивчення речовин по їх здатності поглинати світло називається спектрофотометрією абсорбції.

5.1.2.2 Фотометричні величини

Основною енергетичною характеристикою випромінювання є щільність променистого потоку, тобто потік енергії, який проходить в одиницю часу через одиничну площадку, перпендикулярну напрямку випромінювання. У системі СІ щільність потоку випромінювання вимірюється у [Вт/м²].

Відношення інтенсивності світлового потоку, що пройшов крізь розчин до інтенсивності потоку, що падає на нього, називається коефіцієнтом пропускання:

$$T = \frac{I_l}{I_0}.\tag{5.10}$$

Логарифм величини, оберненої коефіцієнту пропускання, називається оптичною щільністю:

$$D = lg \frac{1}{T} = \frac{I_0}{I_l}.$$
 (5.11)

З формул (5.7), (5.8) та (5.10), (5.11) можна зробити висновок, що пропускання *T* обернено і логарифмічно пов'язане з концентрацією *C*, тоді як оптична щільність *D* пов'язана з концентрацією *C* прямо і лінійно (рис.5.2).



Рисунок 5.2 Зв'язок пропускання та поглинання з концентрацією поглинаючої речовини: а – пропускання обернено та логарифмічно пов'язане з концентрацією; б – поглинання пов'язане прямо та лінійно з концентрацією

Оптична щільність – зручна характеристика при кількісному молекулярному аналізі, оскільки оптична щільність змішаного розчину дорівнює сумі оптичної щільності усіх компонент за відсутності взаємодії між ними.

5.1.2.3 Метод визначення концентрації розчину

У результаті проведення вимірювань у фотометричних методах аналізу безпосередньо визначаються величини концентрації. Для визначення невідомої концентрації аналізованої речовини можна використовувати

формули (5.9) або (5.11), проте на практиці значення молярного коефіцієнта екстинкції відоме не завжди, тому для визначення значення концентрації аналізованого компонента в розчині використовують в даному випадку метод порівняння.

Метод порівняння оптичної щільності стандартного і досліджуваного розчину застосовується при одноразових визначеннях вмісту однієї речовини в розчині.

$$D_X = \varepsilon_{\lambda} \cdot C_X \cdot l,$$
$$D_{\text{CT}} = \varepsilon_{\lambda} \cdot C_{\text{CT}} \cdot l,$$

 ε_{λ} та l - постійні при дослідженні, тому:

$$\frac{D_X}{D_{\text{CT}}} = \frac{C_X}{C_{\text{CT}}} \Longrightarrow C_X = \frac{D_X \cdot C_{\text{CT}}}{D_{\text{CT}}}.$$
(5.12)

Необхідна умова для застосування цього методу – дотримання основного закону світлопоглинання $D_X = \varepsilon_{\lambda} \cdot C_X \cdot l$. Цей метод розрахунку справедливий тільки на лінійному діапазоні залежності оптичної щільність від концентрації.

5.1.2.4 Фотометрична схема вимірювання оптичного поглинання розчинів

Вимірювання оптичного поглинання досліджуваного розчину відносно еталонного розчину здійснюється в одному спектральному діапазоні та реалізується за двома основними схемами: з одним світловим променем (однопроменева фотометрія) або з двома світловими променями (двопроменева фотометрія). У даній лабораторній роботі використовується

прилад з одним світловим променем. Тому детально розглянемо метод однопроменевої фотометрії.

Спочатку вимірюється сигнал фотодетектора, що відповідає величині випромінювання I_{cT} , що пройшло крізь еталонний розчин (стандартний розчин, «холосту пробу») в кюветі, що містить цей розчин. Оптична щільність кювети з еталонним розчином $D_{CT+кювета}$ і сигнал I_{CT} пов'язані співвідношенням:

$$D_{\rm CT+kiobeta} = lg \frac{I_0 - I_{\rm Bid6}}{I_{\rm CT}}.$$
 (5.13)

Потім вимірюється сигнал фотодетектора, який відповідає величині випромінювання I_{Π} , що пройшло через кювету з досліджуваною пробою. Оптична щільність досліджуваного розчину $D_{\Pi+\kappa \rho Beta}$ і сигнал I_{Π} пов'язані співвідношенням:

$$D_{\Pi + \kappa \text{ювета}} = lg \frac{I_0 - I_{\text{відб}}}{I_{\Pi}}.$$
 (5.14)

Шукана щільність визначається з формул (5.13) та (5.14):

$$D_{\Pi} = D_{\Pi + \kappa \text{ювета}} - D_{\text{CT} + \kappa \text{ювета}} = lg \frac{I_0 - I_{\text{відб}}}{I_{\Pi}} - lg \frac{I_0 - I_{\text{відб}}}{I_{\text{CT}}} = lg \frac{I_{\text{CT}}}{I_{\Pi}}.$$
 (5.15)

Схема вимірювання містить один вимірювальний канал. Щоб виміряти сигнали, які відповідають I_{CT} і I_{Π} , необхідно поперемінно вводити у вимірювальний канал кювету з досліджуваним розчином і кювету з еталонним розчином. Таку схему називають схемою прямої фотометрії.

Вимірювання оптичної щільності проводиться в одному каналі послідовно. Спочатку вимірюється сигнал еталонного розчину, потім досліджуваного розчину (рис. 5.3). Результати реєструються окремо, обробка здійснюється вручну.



Рисунок 5.3 Схема однопроменевого методу вимірювання оптичної щільності досліджуваного розчину відносно еталонного розчину в одному спектральному діапазоні випромінювання. Послідовно вимірюється оптична щільність кювети з стандартом і досліджуваною пробою

Недолік методу полягає у значному часовому інтервалі між дослідженням різних розчинів, що призводить до похибок вимірювання внаслідок часової нестабільності оптико-електронного тракту (джерела випромінювання і фотоприймачів).

5.2 Обладнання

5.2.1 Схема оптична спектрофотометра UNICO 2100

Схема оптична принципова спектрофотометра UNICO 2100 наведена на рис. 5.4. Нитка розжарювання вольфрамової галогенної лампи 1 зображується конденсором 2 в площині вхідної щілини Д1.

Далі вхідна щілина Д1 проектується ввігнутою дифракційною решіткою 4 і ввігнутим дзеркалом 5 в площину вихідної щілини Д2. Обертаючи дифракційну решітку 4 навколо осі, що паралельна її штрихам, виділяють вихідною щілиною Д2 випромінювання у вузьких спектральних інтервалах в

діапазоні від 325 до 1000 нм. Об'єктив 7 проектує збільшену вихідну щілину перед лінзою 9, котра створює в площині фотоприймача 10 світлову пляму.



Рисунок 5.4 Схема оптична принципова спектрофотометра UNICO 2100: 1 – вольфрамова галогенна лампа; 2 – конденсор; 3 – світофільтр; 4 – дифракційна решітка; 5 – ввігнуте дзеркало; 6 – дзеркало; 7 – об'єктив; 8 – кювета; 9 – лінза; 10 – фотоприймач; Д1, Д2 – вхідна та вихідна щілини, відповідно

Для зменшення кількості розсіяного випромінювання при роботі в діапазоні довжин хвиль 325-400 нм після вхідної щілини автоматично вводиться (потім автоматично виводиться) світлофільтр 3. У кюветне відділення (між об'єктивом 7 і лінзою 9) встановлюються по черзі чотири прямокутні кювети 8.

5.2.2 Схема електрична структурна спектрофотометра UNICO 2100



Рисунок 5.5 Схема електрична структурна спектрофотометру UNICO 2100: О – освітлювач; ПВ – приймач випромінювання; ПС – підсилювач постійного струму; ЕОМ – мікро-ЕОМ; ПКП – датчик перетворювача кута повороту дифракційної решітки; СН – стабілізатор напруги освітлювача; БЖ – блок живлення

Ha 5.5 представлена рис. електрична структурна схема спектрофотометру UNICO 2100. Вона складається приймача 3 випромінювання ПВ, що перетворює оптичний сигнал в електричний, підсилювача постійного струму ПС, мікро-ЕОМ, перетворювача кута повороту дифракційної решітки в напругу ПКП разом з датчиком кута повороту, стабілізатора напруги освітлювача СН і блоку живлення БЖ спектрофотометра.

5.2.3 Конструкція та принцип роботи спектрофотометра UNICO 2100

Зовнішній вигляд спектрофотометра наведений на рис. 5.6. Він виконаний у вигляді одного блоку. На металевій основі 1 закріплені окремі вузли, що закриваються кожухом 2. Кюветне відділення закривається кришкою 5. Введення у світловій пучок кювет здійснюється переміщенням ручки 4. При встановленні ручки 4 до упору в світловий пучок вводиться кювета з «холостою пробою» (розчинником або контрольним розчином). З правої сторони розміщена робоча панель 6 (рис.5.7).



Рисунок 5.6 Зовнішній вигляд спектрофотометра UNICO 2100: 1 – основа приладу; 2 – кожух; 3 – індикатор напруги; 4 – ручка переміщення кювето тримача; 5 – кришка, що закриває кювети; 6 – робоча панель

На робочій панелі (рис. 5.7) розміщено 9 елементів:

1. Цифровий дисплей: відображає дані, отримані при роботі в режимах пропускання, оптичної щільності, концентрації, а також в режимі коефіцієнта.

2. Індикатор режиму: режим роботи світиться у вигляді червоної світлодіодної точки, що дозволяє оператору визначати який режим вимірювання використовується в даний момент часу (Т – режим пропускання (transmittance), А – оптичної щільності (absorbance), С – концентрації (concentration) та F – коефіцієнта (factor).

3. Кнопка 0ABS/100%T скидає показники приладу, якщо у кюветному відділенні встановлений «холостий» контрольний розчин. Кожен раз при виборі нової довжини хвилі натискайте кнопку 0ABS/100%T для підтвердження.

4. Кнопка вибору режиму (MODE): прилад працює в чотирьох режимах (п.2).

5. Кнопка PRINT для відправлення показників на RS-232C – порт та на принтер.



Рисунок 5.7 Зовнішній вигляд робочої панелі:

1 – цифровий дисплей; 2 – індикатор режиму; 3 – скидання показників;
4 – кнопка вибору режиму; 5 – кнопка друку; 6 – екран індикатора довжини хвилі; 7 – кнопки керування довжиною хвилі; 8 – кнопка зміни величин концентрації та коефіцієнту; 9 – кнопка встановлення зв'язку з комп'ютером

6. Екран індикатора дожини хвилі (Wavelength): показує поточне значення довжини хвилі.

7. Кнопки керування довжиною хвилі: забезпечують користувачу вибір потрібної дожини хвилі.

8. Кнопки INC, DEC (для режимів концентрації та коефіцієнту) дозволяють користувачу змінювати рівень концентрації при роботі в режимі С чи значення коефіцієнту в режимі F.



Рисунок 5.8. Зовнішній вигляд спектрофотометра UNICO 2100 без кожуха: 1 – лампа; 2 – дзеркало; 3 – монохроматор; 4 – оптичний канал; 5 – кюветне відділення; 6 – фотоприймальний пристрій; 7 – мікропроцесорна система

9. Кнопка ENT: в режимах A і T результати відсилаються на друк; в режимі C встановлюють рівень концентрації; в режимі F встановлюють рівень коефіцієнту та виконується перехід в режим C. При використанні комп'ютера – забезпечується зв'язок з програмним забезпеченням.

Вигляд спектрофотометра без кришки показано на рис. 5.8.

Світло від вольфрамової галогенної лампи 1 за допомогою дзеркала 2 падає на вхідну щілину монохроматора 3. Монохроматор 3 призначений для вилілення випромінювання заданого спектрального діапазону. Він складається з корпусу, вузла вхідної щілини, сферичного дзеркала, дифракційної решітки та вузла вихідної щілини. Через оптичний канал 4 промінь заданого спектрального діапазону попадає в кювету з речовиною. Кюветне відділення 5 болтів за допомогою кріпиться ДО корпусу спектрофотометра. Кювети встановлюють в кюветотримач, розміщений в кюветному відділенні 5. З правої сторони від кюветного відділення розміщений фотометричний пристрій 6, який перетворює світловий сигнал в електричний. Фотометричний пристрій містить кремнієвий фотодіод та підсилювач постійного струму (ППС). Сигнал виводиться на дисплей. Мікропроцесорна система 7 складається з трьох друкованих плат.

Вигляд спектрофотометру ззаду представлений на рис. 5.9.

На задній стінці розміщений роз'єм 1 для під'єднання до джерела живлення – мережі 220В, 50 Гц, вихід 2 RS 232-С для підключення до комп'ютера чи принтера, вентиляція 3, вентилятор блоку живлення 4, вмикач приладу 5.



Рисунок 5.9. Вигляд спектрофотометру UNICO 2100 ззаду: 1 – роз'єм; 2 – вихід RS 232-С; 3, 4 – вентиляційні отвори; 5 – вмикач

5.3 Порядок виконання роботи

При ввімкнені приладу запускається програма само калібрування. Кожен крок само калібрування показується на екрані довжин хвиль 6 (рис.5.7).

До основних етапів само калібрування при запуску відносяться:

 P1 – перевірка електронних компонент та позиціонування вторинних фільтрів.

Р2 – монохроматор визначає вихідну позицію.

Р3 – монохроматор визначає випромінювання нульового порядку та вимірює енергію вихідного світлового випромінювання.

Р4 – монохроматор переходить на значення, яке наближається до 545 нм; на приладі встановлюється 0%Т; запускається RS 232-С порт; встановлюється значення 100%Т («холостий» контрольний розчин).

5.3.1 Підготовка проби та аналіз

5.3.1.1 Вихід на робочий режим спектрофотометру та перевірка величини %Т

1. Ввімкнути спектрофотометр кнопкою ІО та дати приладу прогрітися протягом 15 хв.

2. Кнопкою MODE вибрати режим пропускання (Т) або режим оптичної щільності (А).

3. Вибрати потрібно довжину хвилі (Wavelenght Control). Кожен раз при зміні довжини хвилі на цифровому екрані висвічується надпис "BLA", який свідчить про те, що при зміні довжини хвилі потрібно натиснути кнопку 0А/100%T для скидання показників приладу при встановленому контрольному розчині.

5.3.1.2 Підготовка зразка

4. Приготувати холостий контрольний розчин, заповнивши кювету дистильованою водою або іншим відомим розчинником, відповідно до обраної методики вимірювань. Протерти кювету салфеткою, щоб видалити відбитки пальців та каплі рідини.

5. Встановити кювету з холостим розчином в одне з відділень 3-х позиційного кюветотримача та ручкою перемістити кюветотримач таким чином, щоб кювета знаходилась на шляху світлового променя. Закрити кришку.

6. Встановити значення 0.000А або 100%Т за допомогою кнопки 0А/100%/Т.

7. Відкрити кришку та витягнути кювету з контрольним розчином (якщо досліджується менше 3-х розчинів, контрольний розчин можна залишити).

5.3.1.3 Аналіз проб

8. Наповнити кювету розчином проби та протерти її.

9. Поставити кювету з пробою в відділення для проб та закрити кришку.

10. Зняти показники для режимів Т та А з цифрового дисплею. Забрати кювету з пробою.

11. При необхідності проведення аналізу проби на іншій довжині хвилі, повторити кроки 3-10 для відповідного значення довжини хвилі.

12. Для аналізу іншої проби повторити кроки 2-11.

5.3.2 Режим вимірювання концентрації

Даний метод використовуються в тому випадку, коли відомо, що взаємозв'язок між оптичною щільністю та концентрацією носить лінійний характер. Рівень концентрації стандартного розчину, який використовуються для калібрування приладу, повинен бути вищий ніж у проби.

1. Вибрати необхідне значення довжини хвилі (Wavelenght Control).

- 2. Кнопкою MODE вибрати режим оптичної щільності (А).
- 3. Встановити кювету з холостим розчином.

4. Встановити значення 0.000А за допомогою кнопки 0А/100%/Т.

5. За допомогою кнопки МОДЕ вибрати режим С.

6. Вставити кювету зі стандартним розчином відомої концентрації в перший відділ кюветотримача та за допомогою кнопок INT та DEC встановити на цифровому дисплеї значення стандартного розчину.

7. Натиснути кнопку ENT. Якщо показники змінюються, то потрібний коефіцієнт надто високий (тобто більший 1999) та не висвічується. У цьому випадку потрібно розділити концентрацію на 10, обрати повторно метод C та виконати крок 2, щоб встановити більш низьке значення концентрації стандартного розчину.

8. Використовуючи рівень концентрації стандартного розчину, визначити рівні концентрації проб з невідомою концентрацією. Для цього вставити кювети з невідомою концентрацією та зняти показники з дисплею.

9. Щоб визначити значення коефіцієнта для перерахунку оптичної щільності в концентрацію, необхідно перейти в режим F та зняти значення коефіцієнту з цифрового дисплею (якщо положення перемикача режимів змінено на режим F або A, показники концентрації «заморожуються» і їх не можна змінити. У цьому випадку потрібно повторити аналіз з кроку 1).

5.3.3 Режим коефіцієнтів

Даний метод призначений для вимірювання рівнів концентрації невідомих проб за допомогою попередньо визначеного коефіцієнта для перерахунку показників оптичної щільності в концентрацію.

1. Після встановлення довжини хвилі та нульового значення оптичної щільності для холостого розчину, виберіть режим F за допомогою кнопки MODE.

2. Встановити кювету з пробою.

3. Використовуючи кнопки INC та DEC, встановити на цифровому дисплеї необхідне значення коефіцієнту.

4. Натиснути кнопку ENT. Спектрофотометр переключиться в режим С. При високій концентрації проби прилад не перемикається в режим С. У цьому випадку необхідно розчинити пробу та помножити показник концентрації на коефіцієнт розчинення, щоб отримати вихідне значення концентрації. Якщо розчинити пробу неможливо або дана дія призведе до виникнення проблем, можна розділити значення коефіцієнта на 10 або 100 та виконати кроки 1-4 для вводу нового коефіцієнту. У даному випадку необхідно розрахувати концентрацію проби шляхом помноження показників на 10 або 100.

5. Зніміть показники концентрації проби з цифрового дисплею.

5.4 Контрольні запитання

1. Що таке фотометрія? Її застосування в медицині.

2. Методи фотометрії та їх застосування.

3. Опишіть закон поглинання.

4. Яка основна енергетична характеристика випромінювання? Що вона означає?

5. Назвіть фотометричні величини.

6. Опишіть метод визначення концентрації розчину.

7. Намалювати та охарактеризуйте принцип роботи схеми з одним світловим променем (однопроменева фотометрія).

8. Намалювати та охарактеризуйте принцип роботи схеми з двома світловими променями (двопроменева фотометрія).

9. Намалюйте та опишіть схему оптичну принципову спектрофотометра UNICO 2100.

10. Намалюйте та опишіть електричну структурну схему спектрофотометра UNICO 2100.

11. Розкажіть порядок проведення лабораторної роботи.