

**ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
МИХАЙЛА КОЦЮБИНСЬКОГО**

Факультет математики, фізики і комп'ютерних наук
Кафедра фізики і методики навчання фізики, астрономії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ВИВЧЕННЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ
КЛІТИН ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ У КУРСІ ПРИРОДОЗНАВСТВА ДЛЯ
ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ»**

Студентки 2 курсу 2 МСОФА групи

Освітньої програми Середня освіта. Фізика та астрономія

Предметної спеціальності 014.08 Середня освіта(фізика та астрономія)

Спеціальності 014 Середня освіта

Галузі знань 01 Освіта/Педагогіка

Ступеня вищої освіти магістра

Кулічок Аміни Олександрівни

Науковий керівник : Думенко В.П., доцент кафедри

фізики і методики навчання фізики, астрономії, доцент, кандидат
технічних наук.

Розширена шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Голова Екзаменаційної комісії _____

(підпис) (ініціали, прізвище)

Члени Екзаменаційної комісії _____

(підпис) (ініціали, прізвище)

(підпис) (ініціали, прізвище)

(підпис) (ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Кулічок А.О. Вивчення оптичних методів дослідження клітин живих організмів у курсі природознавства для закладів середньої освіти. Спеціальність - 014.08 Середня освіта (Фізика та астрономія), Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця. - 2024.

У роботі проаналізовано сучасну наукову літературу присвячену вирішенню теоретичних і практичних завдань при застосуванні оптичних методів дослідження та обґрунтовано методичні рекомендації щодо вивчення даних методів в шкільному курсі природознавства. Запропоновано інструкцію для створення проєкту з напрямку вивчення оптичних методів дослідження складу крові людини. За допомогою сучасних приладів було експериментально визначено енергетичні оптичні характеристики зразків крові та зміни показників крові. Розроблено інтерактивні вправи для вивчення оптичних методів дослідження та наведено перелік сучасних застосунків для цікавого вивчення даної теми.

Ключові слова: мікроскопія, метод проєктів, живі клітини, оптичні характеристики.

ABSTRACT

Kulichok A.O. The study of optical methods of studying the cells of living organisms in the natural science course for secondary education institutions. Specialty - 014.08 Secondary Education (Physics and Astronomy), Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsiubinsky, Vinnytsia. - 2024.

The paper analyzes the modern scientific literature devoted to the solution of theoretical and practical problems in the application of optical research methods and substantiates the methodological recommendations for the study of these methods in the school course of natural science. Instructions for creating a project in the direction of studying optical methods of researching the composition of human blood are offered. With the help of modern devices, the energy optical characteristics of blood samples and changes in blood parameters were determined experimentally. Interactive exercises for learning optical research methods have been developed and a

list of modern applications for interesting study of this topic is provided.

Key words: microscopy, project method, living cells, optical characteristics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ.....	8
1.1 Фізичні основи застосування оптичних методів в біомедичних дослідженнях	8
1.2 Класифікація оптичних методів дослідження.....	12
1.3 Перспективи використання оптичних методів дослідження в медицині	29
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I.....	39
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ КРОВІ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ	40
2.1 Методичні рекомендації щодо вивчення оптичних методів дослідження живих клітин організмів в курсі природознавства	40
2.2 Визначення енергетичних оптичних характеристик зразків крові за допомогою універсального фотометра	46
2.3 Дослідження зміни показників крові методом оптичної мікроскопії	51
2.4 Застосування сучасних технологій та розробка інтерактивних вправ для вивчення оптичних методів дослідження клітин організму людини в курсі природознавства.....	58
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	71

ВСТУП

Актуальність дослідження. Оптичні методи широко використовується для дослідження структури й функцій клітин живих організмів.

Внесення до навчальної програми вивчення оптичних методів дослідження клітин, таких як мікроскопія, дає можливість учням глибше розуміти клітинний рівень організації живих істот, що сприяє кращому засвоєнню теоретичного матеріалу. У сучасному світі де біологічні науки швидко розвиваються і дедалі більше інтегруються з іншими науковими галузями, такими як хімія, фізика та інформатика, базові знання з оптичних методів дослідження стають фундаментальними основами для розуміння міждисциплінарних підходів до вивчення живих форм. Крім того, розвиток STEM-освіти висуває потребу у впровадженні науково-дослідних методів у навчальні програми для закладів середньої освіти, що сприяє підвищенню інтересу учнів до природничих наук, розвиває їх критичне мислення, аналітичні та дослідницькі здібності. Вивчення оптичних методів також допоможе виховати в учнів розуміння цінності наукових досліджень та підготувати їх до подальшого навчання у вищих навчальних закладах, де такі знання можуть бути поглиблені та розширені.

Таким чином, дослідження актуальності та способів впровадження оптичних методів вивчення клітин живих організмів у курсі природознавства для закладів середньої освіти є необхідним і своєчасним завданням, що сприятиме модернізації освіти та підвищує її ефективність.

Мета та задачі дослідження.

Теоретично обґрунтувати фізичні основи застосування оптичних методів та виконати експериментальні дослідження для виявлення патологічних змін клітин крові; розробити методичні рекомендації щодо вивчення оптичних методів в курсі природознавства.

У дипломній роботі поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати сучасну наукову літературу присвячену вирішенню теоретичних і практичних завдань при застосуванні оптичних методів дослідження.
2. Розробити методичні рекомендації щодо вивчення оптичних методів та реалізацію науково-дослідних проєктів присвячених дослідженню клітин крові людини в курсі природознавства.
3. Визначити енергетичні оптичні характеристики зразків крові за допомогою універсального фотометра.
4. Дослідити зміни показників крові методом оптичної мікроскопії.
5. Проаналізувати застосування сучасних технологій та розробити інтерактивні вправи для вивчення оптичних методів дослідження.

Об'єкт дослідження: Фізіологічні та біологічні процеси в крові людини.

Предмет дослідження: Оптичні характеристики клітин крові людини.

Методи дослідження – оптичні методи дослідження, методи математичної обробки інформації, методи педагогічного дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів.

У роботі отримано такі наукові результати:

1. Запропоновано застосування фотометрії для визначення оптичних характеристик паталогічних клітин крові.
2. Розроблено перелік інтерактивних вправ для вивчення оптичних методів дослідження клітин живих організмів у курсі природознавства закладів середньої освіти.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій експериментальні результати знаходяться у відповідності з подібними результатами, представленими в науковій літературі.

Публікації. За матеріалами дипломної роботи опубліковано 2 статті в збірниках наукових праць.

Апробація результатів ДР. Результати досліджень, які викладено у дипломній роботі, доповідались та обговорювались на таких конференціях:

Актуальні проблеми математики, фізики і комп'ютерних наук (Вінниця, 2024); VI Всеукраїнська студентська наукова конференція «РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ НАУКИ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ» (Кропивницький, 2024 р.) [18, 19].

Структура і об'єм дипломної роботи. Дипломна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних інформаційних джерел. Загальний обсяг дипломної роботи складає 72 сторінок, з яких основний зміст викладено на 61 сторінках друкованого тексту, дипломна робота містить 30 рисунків, 5 таблиць. Список використаних джерел складається з 23 найменувань.

РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ

1.1 Фізичні основи застосування оптичних методів в біомедичних дослідженнях

На сьогоднішній день використання саме спектрофотометричних методів у біології, хімії та медицині базується на широкому спектрі явищ, пов'язаних із взаємодією світла з біологічними об'єктами. Оптичне випромінювання, аналогічно звичайному світлу, може відбиватися, поглиблюватися, розсіюватися біологічним середовищем. Кожен з цих процесів містить інформацію про мікро- та макроструктуру цього середовища, а також про рух і форму окремих його складових.

Червоне, інфрачервоне та ультрафіолетове світло володіють здатністю викликати фотобіохімічні реакції. Наприклад, фотосинтез рослин і бактерій, а також механізм зору, є яскравими прикладами взаємодії біологічних об'єктів з цими ділянками спектру.

Високоінтенсивне світлове випромінювання в ультрафіолетовому, видимому червоному та інфрачервоному діапазонах довжин хвиль може мати руйнівний (деструктивний) вплив на біологічні об'єкти.

Традиційні методи контролю та вимірювань оптичних характеристик не повністю відповідають сучасним вимогам спектроскопії світлорозсіювальних об'єктів. Тому вони вимагають подальших наукових досліджень, нових розробок і значного вдосконалення, включаючи автоматизацію та інтелектуалізацію [1].

Одним з найбільш поширених класів об'єктів у біомедичних дослідженнях є неоднорідні (світлорозсіювальні) середовища. Термін "неоднорідні" використовується для опису двофазних або n-фазних систем, де частинки однієї фази розподілені всередині об'єму іншої фази, і можуть мати видиму або невидиму межу поділу між ними. Це включає всі дисперсні системи, такі як колоїди, біооб'єкти, шорсткі та дзеркальні поверхні та ін.

Класифікація таких об'єктів може бути різноманітною, але основною розподіл дозволяє виділити три класи неоднорідних середовищ. Молекулярні світлорозсіювальні середовища та колоїди є прикладами дисперсних систем. Крім біоб'єктів, існує інший значущий клас неоднорідних об'єктів - це тверді тіла з дзеркальною чи шорсткою поверхнею. Ці об'єкти, в основному, включають речовини неорганічного походження, такі як різні метали та сплави, напівпровідники, синтетичні матеріали та тонкі плівки, а також текстиль та подібні матеріали. Важливо відзначити, що розвиток спектрофотометричних методів в основному здійснювався у напрямку дослідження цих об'єктів, і тому вони мають високий рівень розвитку.

Традиційно оптичні характеристики таких об'єктів розглядалися, із суттєвим недоліком, без врахування їхньої специфіки як сильно світлорозсіювальних середовищ, згідно з класичним законом Бугера-Ламберта-Бера. Проте такі методичні підходи виявляються неефективними в практичних вимірюваннях, де необхідно враховувати кооперативні, дифракційні, інтерференційні, поляризаційні та інші ефекти. Це особливо стосується наукових досліджень, медичної діагностики, екологічного моніторингу та інших застосувань [1]. Класифікація об'єктів для спектрофотометричних вимірювань подана на рисунку 1.1.

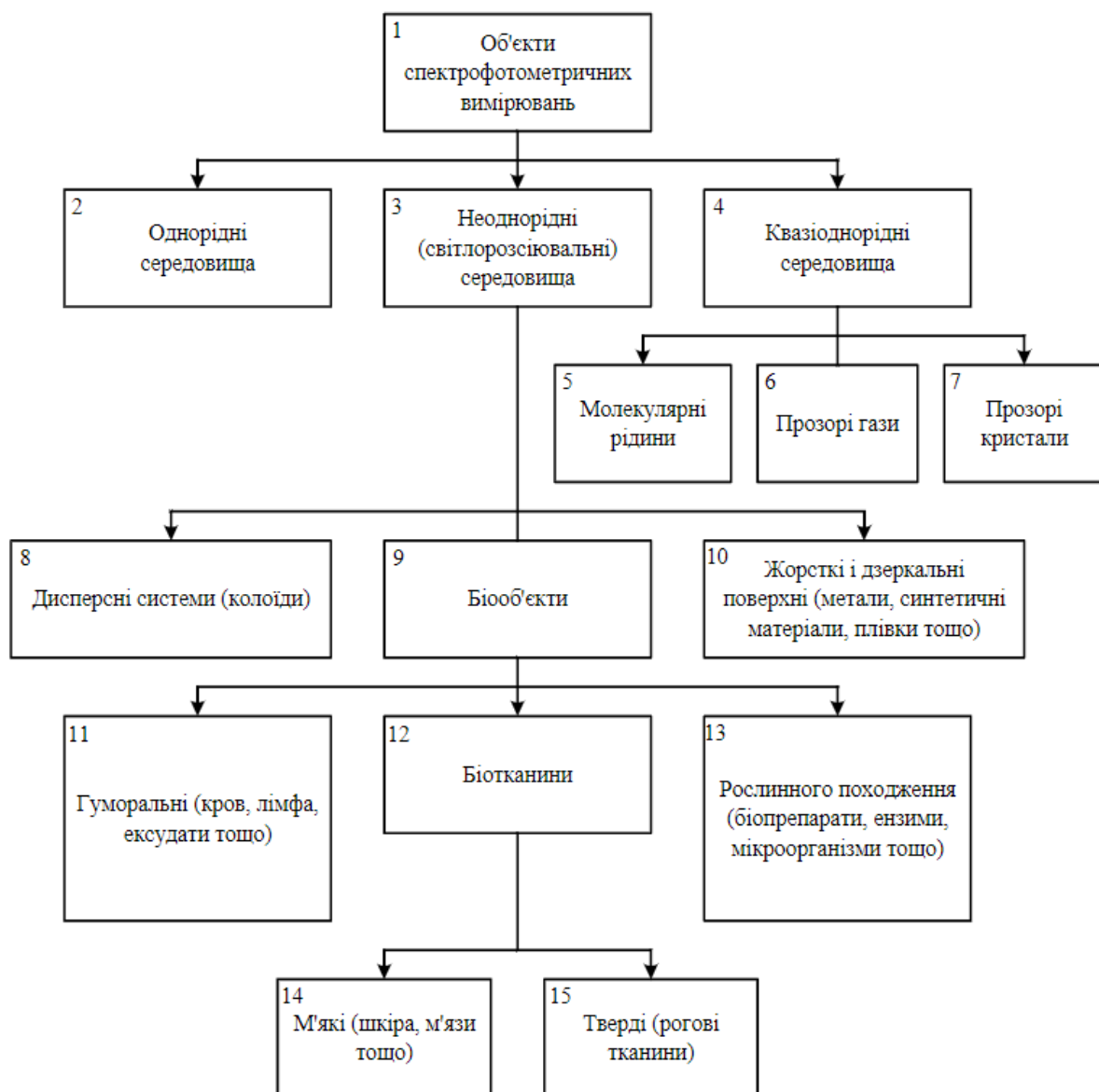


Рис. 1.1. Класифікація об'єктів спектрофотометричних методів в біомедичних дослідженнях

Вважають що дослідження Бонсмана є першими згадками про застосування зміни щільності потоку світла при дослідженні серцево-судинної системи. Вчені Нойонсон та Мейтс також проводили дослідження на тваринах та на частинах тіла людей.

Вимірювання спектрів пропускання речовин у різних агрегатних станах є основою спектрофотометрії. Цей метод відзначається великою простотою, універсальністю, а також порівняно високою чутливістю і точністю аналізу. Це аспекти, які є повністю задовільними при вирішенні багатьох завдань у фундаментальній і прикладній медицині. Однак для вивчення

світлорозсіювальних об'єктів виникає необхідність в подальших дослідженнях та інноваціях для вдосконалення і розвитку цих методів.

Вимірювання спектрів пропускання засноване на реєстрації інтенсивності падаючого I і пройденого в поглинаючому середовищі шлях z світла I в залежності від довжини хвилі λ :

$$I(\lambda, z) \equiv I_0(\lambda) \cdot \exp[-\mu_a(\lambda)z]$$

$$\mu_a(\lambda) = \sigma_a(\lambda)N$$
(1.1)

де μ_a -коефіцієнт поглинання; $\sigma_a(\lambda)$ - ефективний поперечний переріз поглинаючих частинок, см^2 ; N - їх щільність, см^{-3} . Передбачається, що інтенсивність падаючого світла дуже мала. Для невеликих коефіцієнтів поглинання, коли $\exp[-\mu_a(\lambda) \cdot z] \approx 1 - \mu_a(\lambda) \cdot z$, легко знайти, що

$$\mu_a(\lambda) \approx \frac{I_0(\lambda) - I(\lambda, z)}{I_0(\lambda)} \cdot z \equiv \frac{\Delta I(\lambda, z)}{I_0(\lambda) \cdot z}$$
(1.2)

У спектрофотометрах, які не мають лазерів використовуються джерела світла, що дають широкі смуги світла. З використанням призм та дифракційних решіток здійснюють перебудову. Вони мають роздільну здатність, $\Delta\lambda$, від декількох до сотих часток нанометра. Якщо ширина лінії поглинання дорівнює $\delta\lambda$, а $I_0(\lambda)$ не сильно змінюється в інтервалі $\Delta\lambda$, то

$$\frac{\Delta I}{I_0} \approx \frac{\mu_a(\lambda)\delta\lambda}{\Delta\lambda}$$
(1.3)

де $\mu_a(\lambda)$ - коефіцієнт поглинання, усереднений по всій лінії поглинання.

Це вказує на те, що ефективність виявлення вузьких ліній поглинання не лише залежить від здатності приладу реєструвати невеликі зміни ΔI на тлі великого попереднього сигналу, але також від його роздільної здатності. Зазвичай оптимальна чутливість досягається при відношенні $\Delta I / I > 10^{-4} - 10^{-5}$.

1.2 Класифікація оптичних методів дослідження

Мікроскопія. Винахід мікроскопів зробив значний внесок у сучасну медицину. Про клітини нічого не було відомо до появи мікроскопів. До того часу твердо вважалося, що отруйні гази та злі духи викликають хвороби. Винахід мікроскопів призвів до розпізнавання мікроорганізмів та інших бактерій, завдяки чому були розроблені відповідні методи лікування.

Світлова мікроскопія

За допомогою світлової мікроскопії невеликі зразки стають видимими, створюючи зображення, щоб зрозуміти, як структура взаємодіє зі світлом. Деякі параметри, такі як відображення, поглинання та розсіювання зразка, виявляються.

Цей метод особливо ефективний для вивчення прозорих або напівпрозорих зразків, які пропускають світловий пучок. За допомогою сучасних мікроскопів можна досліджувати частинки розміром від 200 нанометрів при максимальному збільшенні до 3000 разів. Цей підхід дозволяє ретельно розглядати як загальну структуру клітини, так і процеси її життєдіяльності, такі як переміщення, поділ, рухомість цитоплазми та інші.

Використання оптичного мікроскопа дозволяє виявляти зміни в клітинах, вивчати різноманітні штами вірусів. Проте слід зазначити обмеження в роздільній здатності, оскільки частинки розміром менше 200 нанометрів стають недоступними для дослідження.

Світловий мікроскоп — це інструмент, який може ідентифікувати, спостерігати та збільшувати об'єкти, пропускаючи світло через низку лінз. Це один із найбільш використовуваних інструментів у галузі біології. Мікроскопи застосовуються в медицині, мікробіології, мінералогії та матеріалознавстві. Застосування світлової мікроскопії може покращити зір мікроорганізмів, зробивши їх великими [9].

У світловій мікроскопії беруть участь три компоненти: збільшення, роздільна здатність і контраст.

1. Збільшення:

- Лінза об'єктива збільшує предмети в 100 разів.
- Окулярна лінза збільшує предмети в 10 разів.
- Використання комбінації двох збільшить об'єкт у 1000 разів.

2. Роздільна здатність:

Окрім збільшення, роздільна здатність світлового мікроскопа є не менш важливим компонентом.

- Роздільна здатність збільшеного об'єкта має зберігатися.

3. Контраст:

При дотриманні контрасту об'єкт виділяється на тлі.

Техніка контрасту дозволяє виділити організми та відрізнити їх від інших матеріалів.

Окрім звичайної світлової мікроскопії дослідження клітини також проводиться за допомогою темнопольної, фазово – контрастної, флуоресцентної (люмінесцентної) і деяких інших видів світлової мікроскопії (рис.2.1).

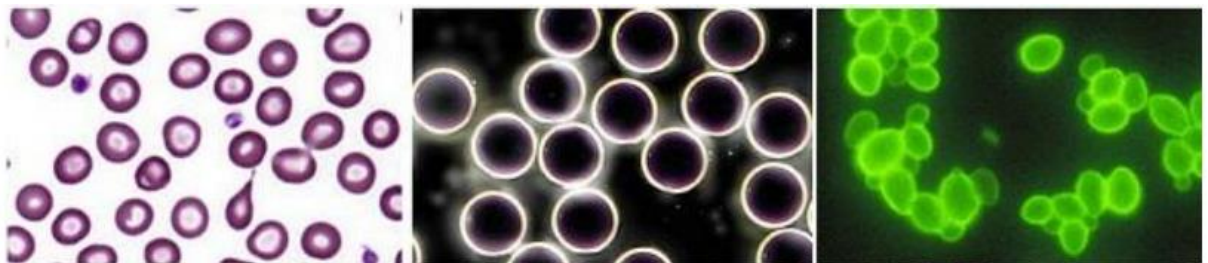


Рис. 1.2. Вигляд крові при світлопольній, темнопольній та люмінесцентних мікроскопіях відповідно

Флуоресцентна мікроскопія

Флуоресцентна мікроскопія, показана на (рис. 2.2), є передовим методом для неінвазивної візуалізації різноманітних живих біологічних об'єктів, починаючи від субклітинних структур і закінчуючи клітинами, тканинами та ембріонами. Цей вид мікроскопії виявляється високоефективним для докладного спостереження клітин у живому стані.

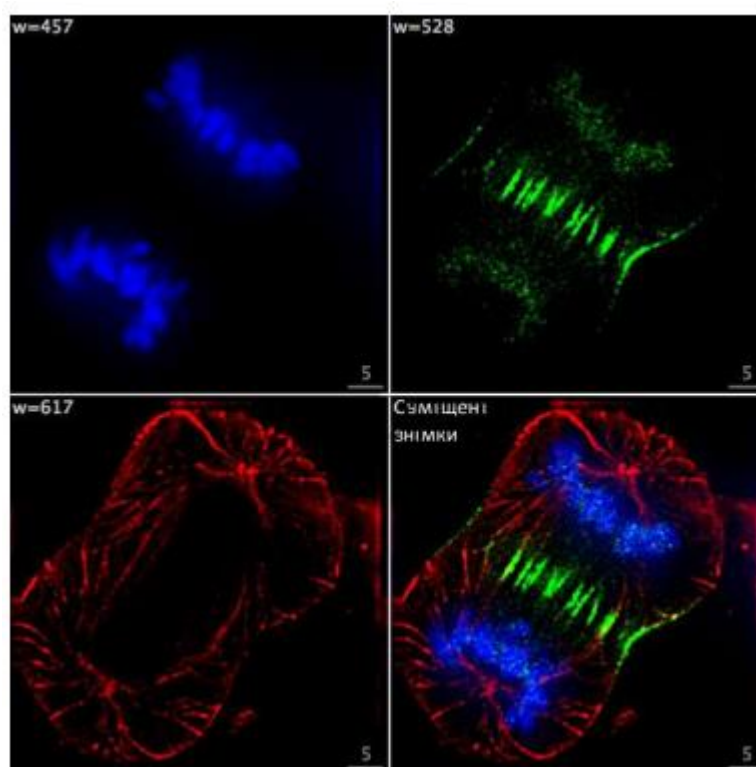


Рис. 1.3. Поділ ракової клітини людини

Флуоресцентний світловий мікроскоп суттєво відрізняється від згаданих раніше. Вищезазначені типи світлової мікроскопії створюють зображення, коли світло проходить через клітини. Флуоресцентний світловий мікроскоп проливає світло, додаючи до зразка молекулу барвника. Він використовує джерело світла високої інтенсивності та стимулює молекулу барвника, коли поглинає світлову енергію. Потім захоплена енергія вивільняється у вигляді світла. Вивільнена освітлена енергія має велику довжину хвилі і, таким чином, створює зображення, помічене флуорохромом. Мікроскоп розкриває клітини на світло для формування зображення [7].

Застосування флуоресцентного світлового мікроскопа використовується для перегляду бактеріальних клітин і ідентифікації конкретних антитіл проти бактеріальних збудників. Флуоресцентний мікроскоп також розпізнає та спостерігає мікроорганізми та визначає різницю між живими та мертвими бактеріями.

Електронна мікроскопія

Електронна мікроскопія — це метод дослідження зразків за допомогою електронних пучків, які замість світла використовуються для отримання зображень на дуже високій роздільній здатності. Завдяки коротшій довжині хвилі електронів порівняно зі світлом, електронні мікроскопи можуть досягати набагато вищої роздільної здатності, що дозволяє вивчати структури на рівні нанометрів (мільярдних часток метра). Висока роздільна здатність ЕМ - зображень є результатом використання електронів (які мають дуже короткі довжини хвилі) як джерела світлового випромінювання. Електронна мікроскопія (рис.2.3) використовується в поєднанні з різними допоміжними методами (наприклад, тонкі зрізи, імунологічне мічення, негативне фарбування), щоб відповісти на конкретні запитання. ЕМ-зображення надають ключову інформацію про структурну основу клітинної функції та захворювання клітини [8].

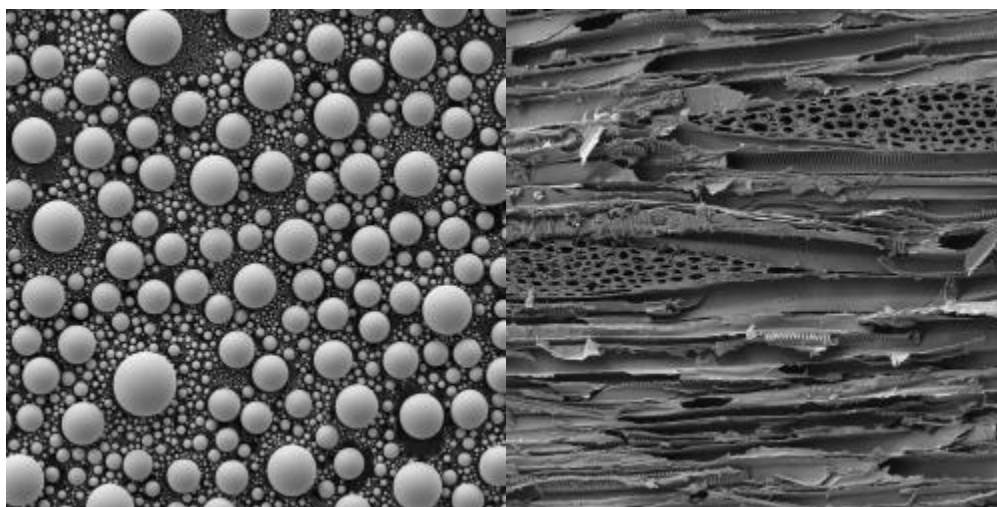


Рис. 1.4. Електронні мікрофотографії поперечних зрізів селекції деревних рослин та ряду наноструктурованих матеріалів

Конфокальна мікроскопія

Конфокальна мікроскопія має кілька переваг перед традиційною оптичною мікроскопією, зокрема можливість регулювати глибину фокусу, усувати або зменшувати фонові деталі, що знаходяться за межами фокусної площини, які можуть погіршувати якість зображення. Вона також дозволяє отримувати послідовні оптичні зрізи з товстих зразків. Основний принцип цього методу полягає у використанні просторової фільтрації для видалення

нефокусованого світла або відблисків у зразках, товщина яких перевищує площину фокусування. Останніми роками відбувся величезний вибух популярності конфокальної мікроскопії, частково завдяки відносній легкості, з якою можна отримати зображення надзвичайно високої якості зі зразків, підготовлених для звичайної флуоресцентної мікроскопії, і зростаючій кількості застосувань у клітинній біології, які покладаються на зображення як фіксованих, так і живих клітин і тканин. Насправді конфокальна технологія виявляється одним із найважливіших досягнень, коли-небудь досягнутих в оптичній мікроскопії.

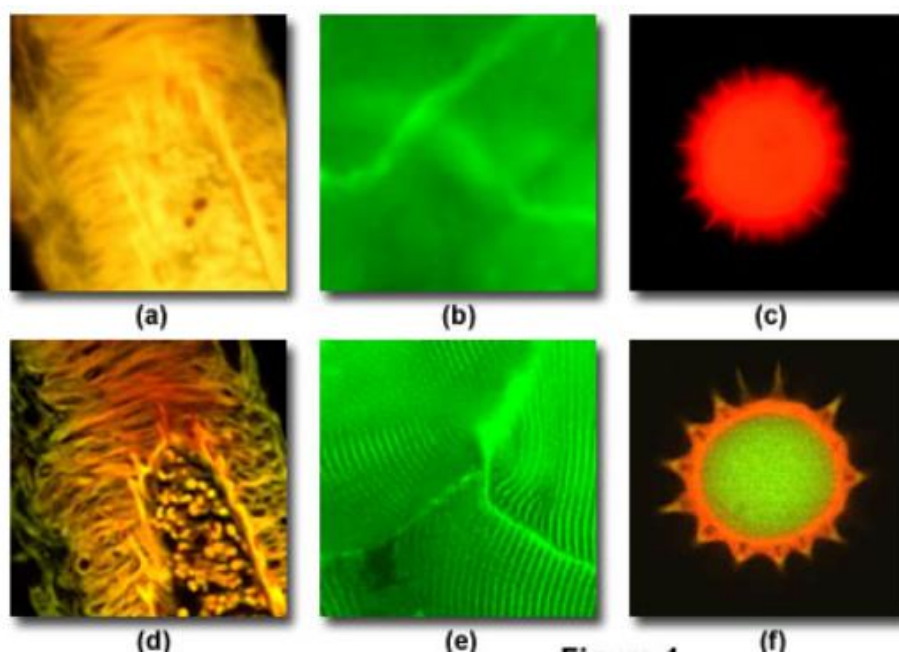


Рис. 1.5. Зображення отримані при роботі з конфокальною мікроскопією

Конфокальний мікроскоп не вимагає фіксації зразка і не чинить шкідливого впливу на живі зразки. У той час як звичайні світлові мікроскопи здатні досліджувати як живі, так і нерухомі клітини, вони пропонують широкі можливості для візуалізації, включаючи флуоресцентне зображення. Однак, ці мікроскопи не можуть працювати з дуже дрібними зразками через обмеження роздільної здатності, яка становить 0,2 мікрометра.

Звичайні світлові мікроскопи також можуть втрачати фокус, що призводить до нечіткого зображення навіть після комп'ютерної обробки. Конфокальні мікроскопи позбавлені цієї проблеми, оскільки вони сканують

зразок на різних глибинах, отримуючи оптичні зрізи. Такий метод дозволяє уникнути артефактів, які виникають при використанні традиційних світлових мікроскопів, і забезпечує більш високу чіткість зображень [7].

Мала глибина різкості (0,5-1,5 мікрметра) дозволяє сканувати лише певні шари зразка, а не всю його товщину. Приймач не захоплює нефокусоване світло, тому зображення залишається чорним, поки мікроскоп не сфокусується, що підвищує чіткість та чутливість. Крім того, конфокальний мікроскоп може виконувати сканування в будь-якому напрямку: горизонтально, вертикально або вглиб. Конфокальні мікроскопи які використовують для дослідження на сьогоднішній день, можуть повністю утворювати електронні системи. Дані електронні системи будуть утворюватись з декількох або одного електронного детектора, комп'ютера – обробки інформації, лазерних систем та найважливішого приладу – оптичного мікроскопа, який буде відігравати головну роль у конфігурації.

В поєднанні з пристроями вибору довжини хвилі та вузлом сканування променя. У більшості випадків інтеграція між різними компонентами є настільки ретельною, що весь конфокальний мікроскоп часто разом називають цифровою системою або системою відео-зображення, здатною створювати електронні зображення. Зараз ці мікроскопи використовуються для рутинних досліджень молекул, клітин і живих тканин, які були неможливі лише кілька років тому.

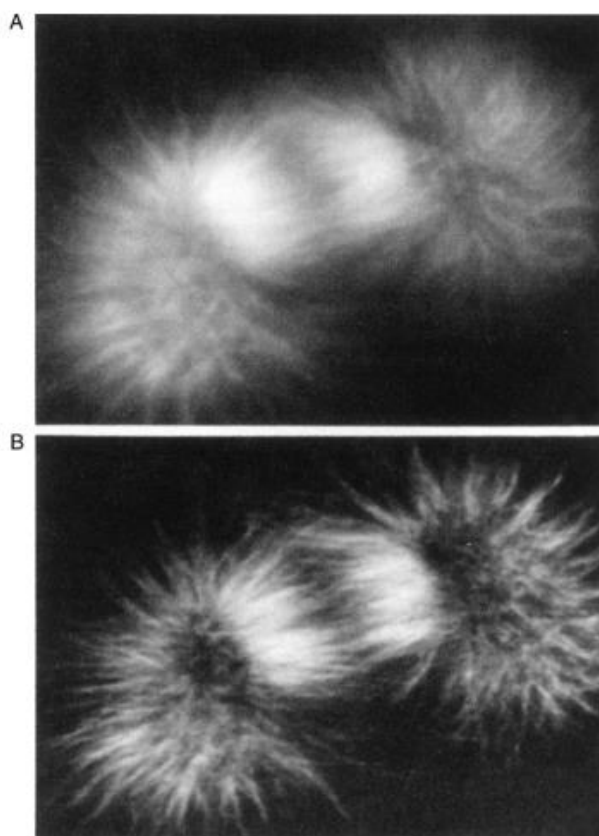


Рис. 1.6. Порівняння зображень звичайного світлового мікроскопу (А) та конфокального (В)

Мікроскоп, який використовує лазер для світла, обмежений діапазоном довжини хвилі лазерного випромінювання. У порівнянні, звичайні світлові мікроскопи використовують ртутні або ксенонові лампи, що дозволяє охоплювати широкий спектр від інфрачервоного до ультрафіолетового випромінювання. Однак використання лазерного променю у конфокальному мікроскопі може мати негативний вплив на деякі клітини через високу інтенсивність.

Найочевиднішим недоліком конфокального мікроскопу є його висока вартість. Звичайний світловий мікроскоп для флуоресцентних досліджень може бути в 10 разів дешевшим у порівнянні з конфокальним. Така фінансова обмеженість може вплинути на доступність та придатність конфокальної технології для деяких дослідницьких груп чи лабораторій [6].

Оптична спектроскопія в медичній діагностиці.

Спектроскопія — це метод дослідження, який використовується для вивчення взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною. Основою спектроскопії є аналіз спектра — розподілу світла або іншого випромінювання за його складовими (довжинами хвиль, частотами чи енергіями).

Цей метод дозволяє отримати інформацію про склад, структуру та фізичні властивості матеріалів на атомному і молекулярному рівнях. Спектроскопія широко застосовується в хімії, фізиці, біології та матеріалознавстві. З її допомогою можна визначати хімічний склад зразків, вивчати енергетичні рівні атомів і молекул, а також досліджувати їхні електронні та коливальні стани.

Сучасні методи оптичної спектроскопії, використовувані в медичній діагностиці, займають провідне місце поруч із такими техніками, як рентгенівська, акустична, ядерно-магнітна резонанс, радіонуклідна, ендоскопічна та інші. Ці методи вирізняються неінвазивністю, відсутністю побічних ефектів, безконтактністю, що гарантує безпеку пацієнта, а також високою чутливістю та роздільною здатністю, що сприяє їх успішному використанню в медичній діагностиці.

Основу цих оптичних діагностичних методів становить взаємодія світла з речовиною. Аналіз результатів цієї взаємодії дозволяє отримувати різноманітну інформацію – від структурної та біохімічної до морфологічної та фізіологічної. Ця інформація виражається через поглинання, розсіювання та відбивання електромагнітного випромінювання в оптичному діапазоні.

Ось певний перелік методів оптичних досліджень, які мають широке практичне використання в останні роки та застосовуються в сучасній медичній діагностиці та в процесі лікування.

Оптична томографія (ОТ) — це метод неінвазивної візуалізації, що використовує світло для створення тривимірних зображень внутрішніх структур об'єктів, таких як тканини людини. В основі методу лежить аналіз того, як світло проходить або розсіюється через різні шари матеріалу, що

дозволяє досліджувати внутрішні структури без необхідності хірургічного втручання.

Оптична томографія часто використовується в біомедицині для вивчення біологічних тканин. Особливо популярний варіант — це оптична когерентна томографія (ОКТ), яка застосовується в офтальмології для діагностики сітківки ока, а також у дерматології та кардіології. ОКТ працює за принципом інтерферометрії — методики, що вимірює зсуви фаз між світловими хвилями для отримання високоточних зображень. Оскільки біологічні тканини значно знижують інтенсивність оптичного випромінювання, найбільш перспективними для діагностики вважаються такі об'єкти, як жіноча молочна залоза, мозок новонародженого та кінцівки (пальці й передпліччя). Ще наприкінці 90-х років було запропоновано використовувати випромінювання з довжиною хвиль у межах 5-15 мкм. Це випромінювання вважається найбільш безпечним для людського організму та здатним ефективно проникати в тканини, що відповідає діапазону максимальної глибини проникнення.

Оптична когерентна томографія (ОКТ) — це неінвазивний метод візуалізації, який використовує світлові хвилі для отримання високоточних тривимірних зображень внутрішніх структур тканин. ОКТ працює за принципом інтерферометрії — технології, що вимірює інтерференцію світлових хвиль, відбитих від різних шарів зразка, для побудови детальних зображень внутрішніх шарів тканин з високою роздільною здатністю. Роздільна здатність традиційної оптичної когерентної томографії (ОКТ) залежить від довжини хвилі використовуваного випромінювання та характеристик системи, зокрема ширини спектра джерела світла. У стандартній ОКТ роздільна здатність зазвичай становить:

Аксіальна роздільна здатність (по глибині зразка) — від 1 до 15 мікрометрів (мкм). Висока аксіальна роздільна здатність дозволяє отримувати детальні оптичні зрізи, що особливо важливо при дослідженні тканин.

Латеральна роздільна здатність (по поверхні зразка) — зазвичай трохи гірша, і складає близько 10-20 мкм. Вона визначається оптичною системою і числовою апертурою об'єктива.

Зазначені значення характерні для традиційної ОКТ, яка працює в діапазоні ближнього інфрачервоного випромінювання. Проте існують модифіковані версії ОКТ (наприклад, спектральна ОКТ), які можуть досягати ще більш високої роздільної здатності, що покращує деталізацію зображень внутрішніх структур тканин. Метод оптичної когерентної томографії (ОКТ) надає можливість отримувати детальні поперечні зображення тканин на мікроскопічному рівні в реальному часі. Цей метод дозволяє досліджувати внутрішню структуру біологічних тканин без хірургічного втручання, використовуючи світлові хвилі для створення зображень з високою роздільною здатністю. ОКТ використовується переважно в офтальмології для діагностики захворювань сітківки ока (наприклад, макулярної дегенерації або глаукоми), але також застосовується в інших галузях медицини, таких як дерматологія, кардіологія, ендоскопія та онкологія. Офтальмолог, використовуючи ОКТ, може розглядати кожен із шарів сітківки. Це дозволяє вимірювати її товщину і візуалізувати у вигляді картини. Ці вимірювання є корисними для діагностики і моніторингу лікування при глаукомі та різних захворюваннях сітківки, таких як вікова дегенерація жовтої плями (ВМД) і діабетична хвороба очей.

Для підготовки до процедури ОКТ, офтальмолог може випадково відокремити в очі краплі, які розширюють зіницю і полегшують огляд сітківки. Пацієнт сидить перед пристроєм ОКТ і утримує голову на спеціальній підставці, щоб забезпечити її нерухомість. Під час сканування обладнання просувається навколо ока, не торкаючись його.

Процедура сканування зазвичай займає приблизно 5-10 хвилин. Якщо зіниці розширені, очі можуть бути чутливими до світла протягом кількох годин після обстеження.

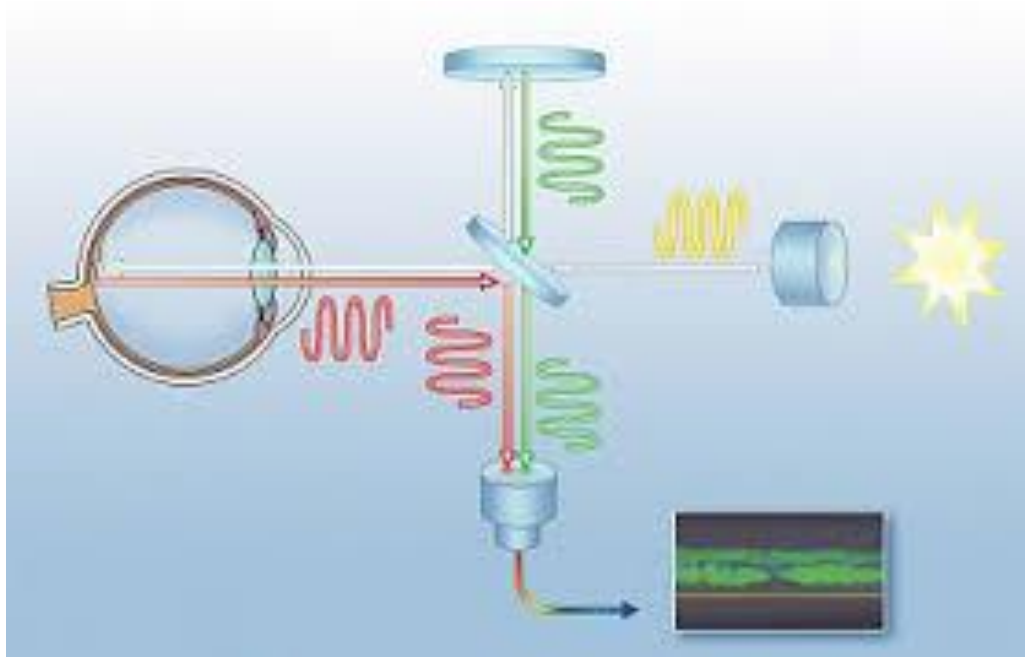


Рис. 1.7. Зображення з дослідження ока людини

Тканини з патологічними змінами, як правило, виявляють меншу організацію. Аномально великі ядра, які часто знаходяться близько до поверхні тканини, призводять до збільшення розсіювання світла. У результаті цього сигнал найсильніший на поверхні тканини і швидко втрачає інтенсивність з глибиною.

Отримані результати свідчать про потенційне використання зображень, отриманих методом оптичної когерентної томографії (ОКТ), для виявлення підозрілих ділянок, включаючи плоскоклітинний рак і синдром Барретта, який є передраковим станом аденокарциноми. Для вирішення цього клінічного завдання у центрі фотомедицини Уелмана була розроблена нова форма ОКТ, яка може надавати зображення великої площі стравоходу - 6 см у довжину із глибиною до 3 мм у слизовій оболонці, з роздільною здатністю приблизно 7 мікрометрів, і це можливо за 90 секунд.

Окрім стравоходу, існує низка інших областей в організмі людини, які можуть бути досліджені за допомогою методу розширеної оптичної когерентної томографії (ОКТ), включаючи легені, підшлункову залозу, жовчні протоки та сечовий міхур. Можливо, що в недалекому майбутньому метод ОКТ отримає таке ж поширення, як магнітно-резонансна томографія (МРТ) або

рентгенівська томографія. У будь-якому випадку, останні наукові досягнення створюють передумови для цього.

Раманівська спектроскопія

Раманівська спектроскопія з роками набула великої популярності в програмах, які визначають біохімічний склад клітин і тканин. Ця техніка значно просунулася вперед і знайшла широке застосування за межами лабораторії в таких додатках, як аналіз матеріалів, контроль процесів і моніторинг навколишнього середовища. Нещодавно спектроскопія комбінаційного розсіювання знайшла застосування в таких клінічних застосуваннях, як діагностика та моніторинг, завдяки поєднанню з іншими діагностичними системами.

Комбінаційне розсіювання відбувається в результаті зміни поляризації молекул під дією світла. Ця методика забезпечує кількісну оцінку біохімічного складу біологічних тканин. Коли спектри отримані під час оцінки, піки є дуже специфічними для молекулярної хімії досліджуваного зразка, з інтенсивністю, прямо пропорційною молекулярному вмісту. Це дозволяє досліджувати концентрації та співвідношення компонентів у досліджуваному зразку.

Таким чином, раманівська спектроскопія забезпечує хімічні відбитки біологічних матеріалів, таких як клітини, тканини або біологічні рідини, через непружне розсіювання світла вібруючими молекулами. Цей відбиток представляє молекулярні коливання, спричинені хімічними зв'язками, таким чином розшифровуючи хімічний або біохімічний склад зразків. Спектри зібрані в області відбитків пальців від 400 до 1800 cm^{-1} , як показано на рис. 2.5. Збір спектрів комбінаційного розсіювання не порушує клітинне середовище. Це вважається однією з переваг, які зробили спектроскопію Рамана кращою серед інших інструментів оптичної діагностики.

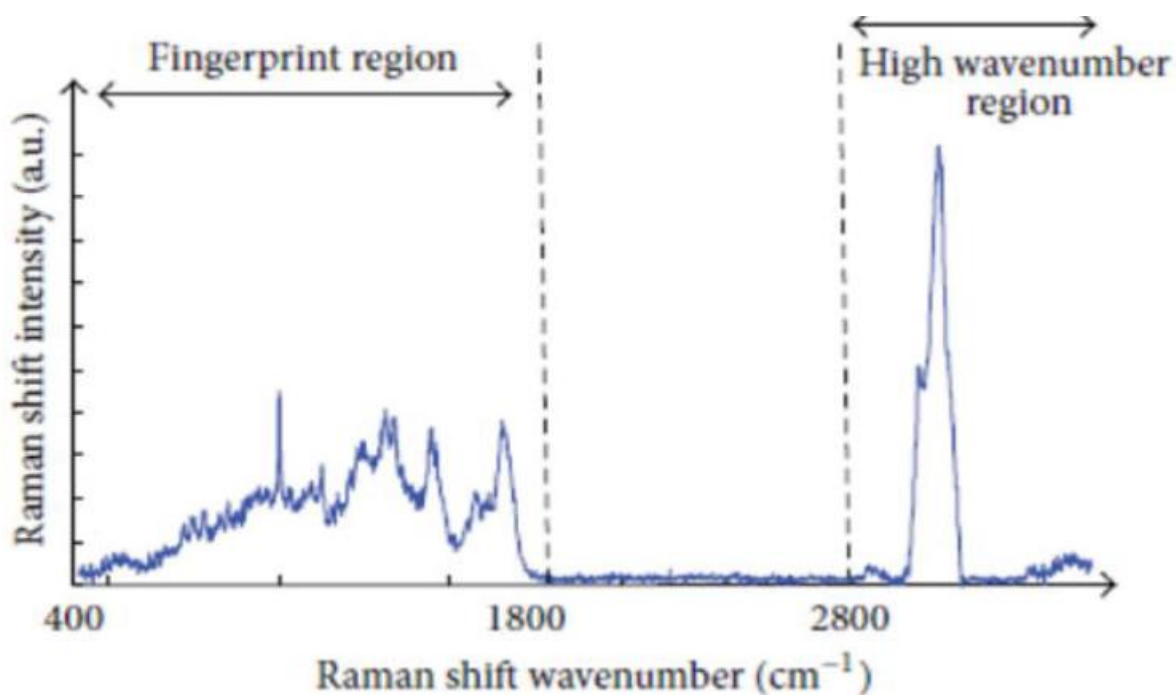


Рис. 1.8. Спектри комбінаційного розсіювання

Деякі з властивостей, які зробили спектроскопію комбінаційного розсіювання придатною для використання в застосуванні, включають її чудову хімічну специфічність, яка призводить до формування спектру, схожого на відбиток пальця, без перешкод з боку води, мінімальної або відсутності підготовки зразка та його здатність використовувати вдосконалені оптичні технології як у видимому, так і в ближньому інфрачервоному спектральних діапазонах. Відомо, що вода є слабким розсіювачем комбінаційного розсіювання і не впливає на спектри розчинених речовин у водному розчині. Вода поглинає в діапазоні від 2000 до 4000 cm^{-1} у спектрі Рамана, який знаходиться в інфрачервоній (ІЧ) та ближній інфрачервоній областях, і, таким чином, виходить за межі області відбитків пальців, у якій поглинають цікаві молекули [6].

Раманівська спектроскопія з роками набула великої популярності в програмах, які визначають біохімічний склад клітин і тканин. Ця техніка значно просунулася вперед і знайшла широке застосування за межами лабораторії в таких додатках, як аналіз матеріалів, контроль процесів і моніторинг навколишнього середовища. Нещодавно спектроскопія комбінаційного розсіювання знайшла застосування в таких клінічних застосуваннях, як

діагностика та моніторинг, завдяки поєднанню з іншими діагностичними системами [4].

Фотоакустична спектроскопія. Фотоакустична томографія (ФАТ) – це метод тривимірної візуалізації, що ґрунтується на фотоакустичному ефекті, вперше відкритому А. Беллом у 1880 році. Хоча існує довга історія дослідження цього ефекту, фотоакустична томографія як метод візуалізації була реалізована лише нещодавно. Отримання зображень за допомогою фотоакустичного ефекту, також відомого як оптоакустичне отримання зображень, є новою методикою в області біомедичної візуалізації, яка активно розвивається протягом останнього десятиліття. В даний час цей метод розглядається як потенційна альтернатива іншим сканувальним методам, таким як магнітно-резонансна томографія (МРТ) та рентгенівська комп'ютерна томографія.

Фотоакустична томографія – це технологія візуалізації, яка досліджує зразок нешкідливим збуджуючим світлом ближнього ІЧ-діапазону та з'ясовує особливості зразка за допомогою ультразвукового виявлення. На відміну від методів флуоресценції, які ґрунтуються на випромінюваних фотонах і, отже, глибина обмежена довжинами хвиль збудження та випромінювання, візуалізація фотоакустичної томографії покладається на тепло від невиконувальних шляхів релаксації для забезпечення термопружних розширень, які поширюються через зразок як ультразвук. Оскільки ультразвук проникає в тканини значно краще, ніж світло, це означає, що глибина візуалізації фотоакустичної томографії в основному обмежується проникненням збуджуючого світла ближнього ІЧ-діапазону в тканини. На практиці це означає, що візуалізація фотоакустичної томографії може дати результати високої роздільної здатності на глибинах до 8–10 см у біологічних тканинах [8].

Цей метод ґрунтується на використанні ультразвуку, який генерується лазером. Це є гібридною методикою, що поєднує високу контрастність та спектроскопічну основу оптичних методів візуалізації з великим просторовим

розділенням ультразвукових зображень. Суттю фотоакустичних зображень є їх можливість розглядати як ультразвукові, де контраст визначається не механічними та еластичними властивостями біологічних тканин, але оптичними, зокрема від поглинання. Таким чином, цей метод відкриває більше можливостей порівняно з традиційною ультразвуковою візуалізацією. Фотоакустична томографія дозволяє виявляти хромофори, такі як гемоглобін, ліпіди, вода та інші, але з більшою глибиною проникнення, ніж у чисто оптичних методиках. Цей метод не лише візуалізує анатомічні структури, але також дозволяє отримувати функціональну інформацію, таку як оксигенація крові, кровотік, температура і багато іншого, з великим просторовим розділенням від мікрометрів до сантиметрів. Це сприяє використанню методу в клінічній медицині, доклінічній діагностиці та дослідженнях у біології при вивченні серцево-судинних захворювань, порушеннях мікроциркуляції та інших областях.

Голографія. Голографія — це метод запису та відтворення тривимірного зображення, заснований на явищах інтерференції та дифракції. Англійський фізик Денніс Габор вперше запропонував принцип голографії у 1948 році. Проте її реалізація стала можливою лише в 60-х роках з появою лазера — джерела когерентного випромінювання. У традиційній фотографії на фотоплівці фіксується лише інтенсивність світлових хвиль, що відбиваються від різних точок об'єкта, без врахування фазових співвідношень між хвилями, які виникають через різну відстань від точок об'єкта до фотоплівки. Реєстрація фаз стає можливою завдяки інтерференції хвиль. Для отримання голографічного зображення пучок ви-промінювання лазера за допомогою лінз поділяється на дві частини (рис. 2.6).

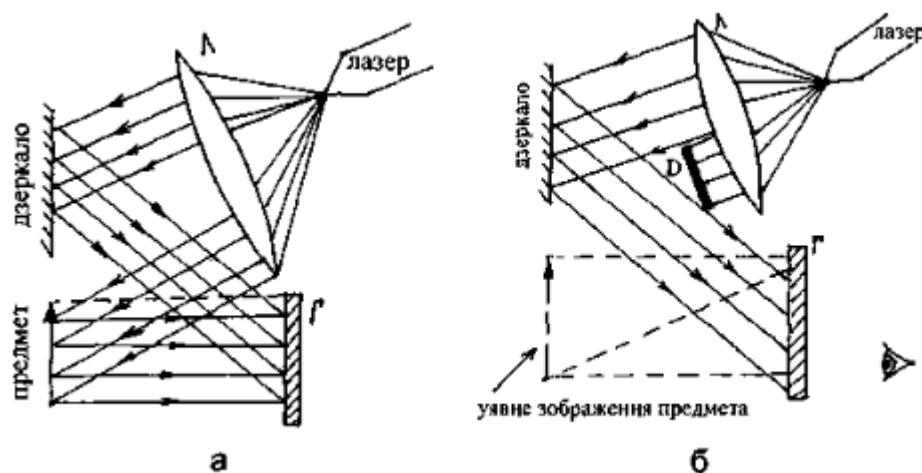


Рис. 1.9. Принципи утворення а та відтворення б голографічного зображення.

Голографія сприяє досконалості в охороні здоров'я, усуваючи ускладнення під час візуалізації. Ця технологія може бути корисною для усунення вимог процедури фізичного тестування. Вона легко зберігає цифрові 3D-зображення пацієнта або частин тіла. Він використовує надійне та ефективне керування всіма записами, а завдяки кращим пристроям і покращеному сховищу легко аналізувати прогрес. Голограми доступні для різних медичних тестів і пристроїв і використовуються для моніторингу діабету, інфекцій та перевірити правильне функціонування м'яких і твердих тканин. Ця технологія доступна для перевірки наркотиків, гормонів, алкоголю та глюкози.

Тепер лікарі можуть використовувати барвисту голографію для належного моніторингу та клінічних випробувань, а також для вивчення складних зображень судинної, нервової та опорно-рухового апарату. Тепер лікарі та хірурги можуть бачити детальні зображення м'яких і твердих тканин людського тіла. Вони також можуть бачити тіло людини ззовні. Голографія має потенціал для досягнення високого рівня в медичних дослідженнях і розробках. За допомогою голографічного зображення лікарі можуть покращити якість медичної освіти та досліджень. Він використовується для реконструкції зображення зразків тканин, що допомагає виконувати операції на тканинах. Ця технологія використовується для створення цифрового 3D-прототипу для

нейронаук. Це також пропонує допомогу у вивченні різних ортопедичних структур. Він застосовний для вимірювання напруги стрижнів, штифтів і різних переломів кісток. Тепер лікарі можуть бачити анатомію пацієнта, не врзаючись у тіло. Корисно створювати технологічний прогрес у галузі медицини.

Голографія має хороше застосування в офтальмології, аудіології, ортопедії та стоматології. У медичній науці голографія розвивається швидше в напрямку покращення розуміння та кращого спілкування, за допомогою якого лікарі можуть бачити детальну структуру пацієнта. Це забезпечує краще розуміння багатьох органів, анатомічних структур і кровоносних судин. Ця технологія корисна для створення тривимірної голограми різних клітин, органів і тканин, які можна надалі вивчати з різних точок зору. Корисно досліджувати та вивчати вплив різних ліків на окремого пацієнта. Це покращує розуміння складної анатомії окремого пацієнта, а також може надати кращу інформацію щодо хронічної хвороби нирок. Здається, ця технологія є кращим навчальним інструментом порівняно з іншими звичайними інструментами обробки зображень.

Цифрова Гістологія: Інноваційний Підхід до Морфологічного Аналізу. Цифрова гістологія являє собою інноваційний напрямок в галузі патології, який поєднує традиційні методи гістологічного дослідження з сучасними цифровими технологіями. Цей підхід забезпечує більш точний, ефективний та стандартизований аналіз тканин, що відкриває нові можливості для діагностики та досліджень.

Цифрова гістологія базується на використанні спеціалізованих сканерів, які перетворюють фізичні зразки тканин у високоякісні цифрові зображення. Ці сканери забезпечують роздільну здатність, достатню для детального аналізу мікроструктури тканин, включаючи клітинний рівень. Основними компонентами цієї технології є:

- **Сканери Слайдів:** Використовуються для створення цифрових зображень гістологічних препаратів. Вони можуть бути оснащені функціями автоматичного фокусування, що підвищує якість отриманих зображень.

- **Програмне Забезпечення:** Використовується для зберігання, аналізу та інтерпретації цифрових зображень. Програми можуть містити інструменти для автоматичного розпізнавання клітин, вимірювання морфологічних характеристик і виявлення патологічних змін.

Цифрова гістологія має великий потенціал для подальшого розвитку. З удосконаленням технологій оцифрування та аналізу зображень можна очікувати:

- **Розширення Застосувань:** Впровадження цифрових методів у різних галузях медицини, включаючи онкологію, дерматологію та неврологію.
- **Інтеграція з Іншими Технологіями:** Поєднання цифрової гістології з іншими діагностичними методами, такими як молекулярна біологія та генетика, для створення комплексних діагностичних платформ.
- **Розвиток Штучного Інтелекту:** Використання штучного інтелекту для більш точного та швидкого аналізу гістологічних зображень, включаючи виявлення рідкісних та складних патологій.

1.3 Перспективи використання оптичних методів дослідження в медицині

Біомедична візуалізація змінила спосіб застосування медицини з тих пір, як Вільгельм Рентген відкрив рентгенівські промені в 1895 році та зміг візуалізувати кістку руки. Технології візуалізації засновані на взаємодії різних форм енергії з тканинами, які можуть неінвазивно створити зображення структури тіла пацієнта або лабораторної тварини [8]. На початку 1970-х років була розроблена комп'ютерна томографія або КТ, яка дозволяла генерувати тривимірне зображення будь-якої частини тіла. Недоліком цього методу є його подальша залежність від рентгенівських променів. Тим не менш, донині вражаючі технічні вдосконалення КТ є ключовим прогресом у діагностичній візуалізації. На початку 1980-х років була відкрита магнітно-резонансна томографія (МРТ), і її вплив на область діагностичних зображень був таким же високим, як і КТ. Обидва методи зробили революцію в медичній допомозі,

забезпечивши високу чіткість і точність розрізнення тканинних структур і архітектури, зі значно розширеною застосовністю після того, як були створені МРТ і рентгеноконтрастні речовини [11].

Сьогодні роль нових технологій біомедичної візуалізації розвивається в тому ж напрямку, що й галузь традиційної медицини, тобто від оцінки та діагностики на основі симптомів до інтегрованих рішень для конкретних проблем зі здоров'ям, включаючи всі аспекти діагностики, визначення стадії та лікування. та подальший догляд. Такі методи, як позитронно-емісійна томографія і однофотонна емісійна комп'ютерна томографія, з'являються як високочутливі методи молекулярного зображення, які доповнюють структурне зображення КТ і МРТ, відкриваючи нові шляхи розвитку складних методів візуалізації.

Прогрес у геноміці та протеоміці відкриває нові основи та поглиблює наше розуміння формування та прогресування захворювань на молекулярному рівні. Він надав засоби для ідентифікації нових цілей і прискореної розробки ліків і терапевтичних концепцій. У результаті зростає потреба в інструментах, що підтримують процес ідентифікації та розробки ліків на рівні тварин.

Маючи на увазі ці два аспекти, настійно рекомендується переглянути можливості, які існують у галузі оптичного зображення, де за останні два десятиліття було досягнуто видатних досягнень. Нові ідеї для агентів оптичної візуалізації були вражаюче втілені в реальність, використовуючи потенціал як зовнішніх ін'єкційних флуоресцентних барвників, так і внутрішніх репортерних білків. Ці методи дозволили як фундаментальним дослідникам, так і лікарям отримати розуміння фундаментальних молекулярних процесів на молекулярному, клітинному, тканинному та органному рівнях (і сформувані робочі гіпотези щодо них).

Ми всі потребуємо медичної допомоги, починаючи з дня народження і до дня смерті. Однак на цю потребу в медичній допомозі зараз вплинуло й загострилося конвергенцією соціальних, демографічних, економічних, екологічних і політичних глобальних тенденцій, які розвивалися протягом

останніх кількох десятиліть. Це світ, повний викликів, які впливають на ефективне надання медичної допомоги ефективним, доступним і стійким способом. З одного боку, звичайний спосіб життя різко змінився в минулому столітті, що призвело до більш сидячого способу життя з відсутністю фізичних вправ, неправильним харчуванням, курінням і надмірним споживанням алкоголю, що призвело до зростання кількості хронічних захворювань, таких як ожиріння, атеросклероз, діабет та рак, які стали основними причинами смерті та інвалідності. З іншого боку, все населення планети продовжує зростати.

Велике населення світу потребує більше лікарів, медичних приладів, товарів медичного призначення, клінік, лікарень і загальної інфраструктури охорони здоров'я, щоб задовольнити потреби людей, які потребують імунізації, хворих чи травмованих. Таким чином, спостерігається і продовжуватиметься загальне зростання та розширення галузі охорони здоров'я в усьому світі, що постійно вимагатиме більше медичних інструментів і технічних інновацій, які можуть полегшити та прискорити медичні огляди, одночасно зменшуючи витрати. Історично оптика була сприятливою технологією для проектування та розробки таких медичних приладів та інструментів.

Інша актуальна та збіжна нинішня тенденція полягає в тому, що біомедичні пристрої та інструменти настільки широко поширені в галузі охорони здоров'я сьогодні. Ми можемо цього не усвідомлювати, але кожного разу, коли ми вимірюємо артеріальний тиск, контролюємо рівень цукру в крові або коли майбутню маму спостерігає її лікар, потрібен інструмент або датчик, який часто базується на використанні оптична техніка або заснована на використанні оптичних компонентів. Поєднайте це з тим фактом, що в багатьох частинах слаборозвиненого світу не вистачає лікарів, лікарень, клінік та інструментів, доступних для підтримки місцевого населення. Отже, стає критично важливою розробка простих, практичних, ефективних і недорогих медичних пристроїв, які можуть використовуватися непрофесіоналами в сільській і віддалених районах для обстеження та лікування пацієнтів.

Оптика та фотоніка, як згадувалося раніше, є потужними, універсальними та сприятливими технологіями для розробки нинішніх і майбутніх поколінь медичних пристроїв, інструментів і методів для діагностики, терапії та хірургічних застосувань.

Враховуючи нинішню науково-дослідну діяльність у всьому світі, яка базується на оптичних і фотонних методах, не варто дивуватися очікуванню ширшого використання оптичних рішень у галузі охорони здоров'я та медичній професії. У майбутньому слід очікувати прогресу в розробці все менших і тонших медичних зондів і катетерів, а також широкого використання пристроїв ОКТ, які стануть такими ж поширеними, як пристрої ультразвукового сканування в сучасному суспільстві. Також поширюватиметься лазерне лікування та терапія. Ендоскопія, зі свого боку, продовжить розвиватися, і будуть розроблені більш складні та менші пристрої, які поєднуюватимуть більше функцій (від стандартного освітлення та візуалізації) до прямого аналізу тканин і лазерного лікування. Методи оптичної візуалізації продовжуватимуть розвиватися разом із цифровим рентгенівським випромінюванням, щоб зробити неінвазивне обстеження та діагностику безпечними, швидкими та з більшою роздільною здатністю та високою точністю.

Деякі майбутні інновації можна спостерігати вже сьогодні у вигляді оптичних пристроїв, які використовуються в поєднанні з розумними портативними стільниковими телефонами [12]. Наприклад, кілька нових компаній наразі розробили аксесуари для приєднання до смартфонів, які перетворюють їх на електронні відеоеквіваленти звичайних інструментів для медичного обстеження, таких як отоскопи (для огляду внутрішньої сторони вух), офтальмоскоп (для огляду внутрішньої сторони очей) або навіть прості мікроскопи. Такі пристрої є пасивними оптичними елементами, які передають зображення пацієнта на відеооб'єктив на цифрову камеру смартфона, перетворюючи його на повноцінний медичний інструмент, підключений до мережі, здатний дистанційно надсилати зображення та відео лікарю-консультанту [13]. На рис. 1.10 зображено отоскоп для мобільного телефону,

який використовується, а на рис. 1.11 зображено версію офтальмоскопа для смартфона та шкірну лупу.



Рис. 1.10. Отоскоп для мобільного телефону

Іншою такою інновацією для смартфонів є так званий CellScore, розроблений дослідниками Каліфорнійського університету в Берклі [13]. CellScore — це мікроскоп, який приєднується до мобільного телефону з камерою та створює два типи мікроскопічних зображень: яскраве та флуоресцентне.



Рис. 1.11. Офтальмоскопа для смартфона

Ідея полягає в тому, що такий пристрій можна використовувати в польових умовах (у віддалених місцях або там, де медична інфраструктура є мало доступною) і робити миттєві збільшені фотографії зразків захворювань і передавати їх до медичних лабораторій через мережі мобільного зв'язку, а також перевіряти гематологічні та інфекційні захворювання в районах, де немає доступу до передового аналітичного обладнання.

Діабет є одним з найбільш поширених хронічних захворювань у світі, що вимагає постійного контролю рівня глюкози в крові. Традиційні методи моніторингу включають регулярне взяття зразків крові, що може бути болісним і незручним для пацієнтів. У цьому контексті фотометричний метод та пристрій для моніторингу рівня глюкози пропонують значний прогрес у неінвазивних технологіях, забезпечуючи більш комфортний і точний спосіб контролю захворювання. Розробка неінвазивних методів і засобів контролю та діагностики життєвих процесів є важливим напрямом сучасної медицини, біотехнологій і науки про здоров'я. Це дозволяє проводити моніторинг фізіологічних параметрів, виявляти захворювання та відстежувати стан організму без необхідності втручання в тканини або органи пацієнта. Неінвазивні методи діагностики й контролю дозволяють отримувати інформацію про стан організму зовні, без хірургічних процедур або проникнення в тіло пацієнта. Це робить їх менш болісними, безпечними та зручними для пацієнтів. Тому актуальним завданням є розробка портативного неінвазивного глюкометра, який зменшить травматичність і спростить процес вимірювання концентрації глюкози.

Принцип роботи фотометричного методу

Фотометричний метод базується на вимірюванні оптичних властивостей світла, яке взаємодіє з біологічними тканинами. Коли світло певної довжини хвилі направляється на шкіру, воно частково поглинається і відбивається молекулами глюкози в крові. Аналізуючи інтенсивність відбитого або поглинутого світла, можна визначити концентрацію глюкози [2].

Основні компоненти пристрою

1. Джерело світла: Пристрій оснащений лазером або світлодіодом, який випромінює світло в діапазоні довжин хвиль, що найкраще підходять для взаємодії з молекулами глюкози.

2. Детектор: Сенсор, який вловлює відбите або поглинуте світло, і передає ці дані до аналізатора.

3. Аналізатор: Обробний модуль, який аналізує отримані дані і обчислює рівень глюкози на основі змін у світловому сигналі.

Неінвазивні методи діагностики знаходять застосування в багатьох сферах медицини:

- Кардіологія: для моніторингу серцевого ритму, артеріального тиску, рівня насиченості крові киснем.
- Офтальмологія: для виявлення захворювань сітківки, глаукоми, катаракти.
- Неврологія: для вивчення структур мозку та виявлення неврологічних порушень.
- Онкологія: для виявлення пухлин на ранніх стадіях розвитку.
- Дерматологія: для діагностики захворювань шкіри без необхідності біопсії.

Розвиток неінвазивних методів діагностики відкриває нові горизонти для медицини, дозволяючи швидше, безпечніше і точніше контролювати стан здоров'я людини, що робить цей напрямок надзвичайно перспективним.

Таблиця 1.1. Рекомендовані довжини хвиль для спектрального аналізу

Рекомендовані довжини хвиль для спектрального аналізу

Спектральні смуги випромінювання	Довжини хвиль, нм
УФ-С	100-280
УФ-В	280-315
УФ-А	315-400
Видима частина спектра	від 360-400 до 760-800
ІЧ-А	780-1400
ІЧ-В	1400-3000
ІЧ-С	3000-10 000

Електромагнітне випромінювання від ультрафіолетового до інфрачервоного використовується в медицині як для лікувальних, так і для діагностичних цілей. Інфрачервоне випромінювання поділяється на декілька діапазонів залежно від довжини хвиль:

Ближній інфрачервоний діапазон (БІЧ): 760-4000 нм.

Середній інфрачервоний діапазон (СІЧ): 4000-14000 нм.

Далекий інфрачервоний діапазон (ДІЧ): 14000-100000 нм.

У фотобіології також виділяються окремі піддіапазони інфрачервоного випромінювання:

ІЧ-А: 760-1400 нм.

ІЧ-В: 1400-3000 нм.

ІЧ-С: 3000-100000 нм.

Ці діапазони мають різні властивості та застосовуються для різних медичних процедур і досліджень.

Метод полягає в тому, щоб послідовно вимірювати два стани біологічного об'єкта на двох різних довжинах хвиль і визначати контрольну різницю оптичної густини між ними (див. рис. 2). Перший вимір проводиться під впливом прикладеного тиску, що забезпечує відтік крові з біологічного об'єкта (наприклад, пальця або мочки вуха), а другий — у звичайному стані об'єкта з повним кровонаповненням [3].

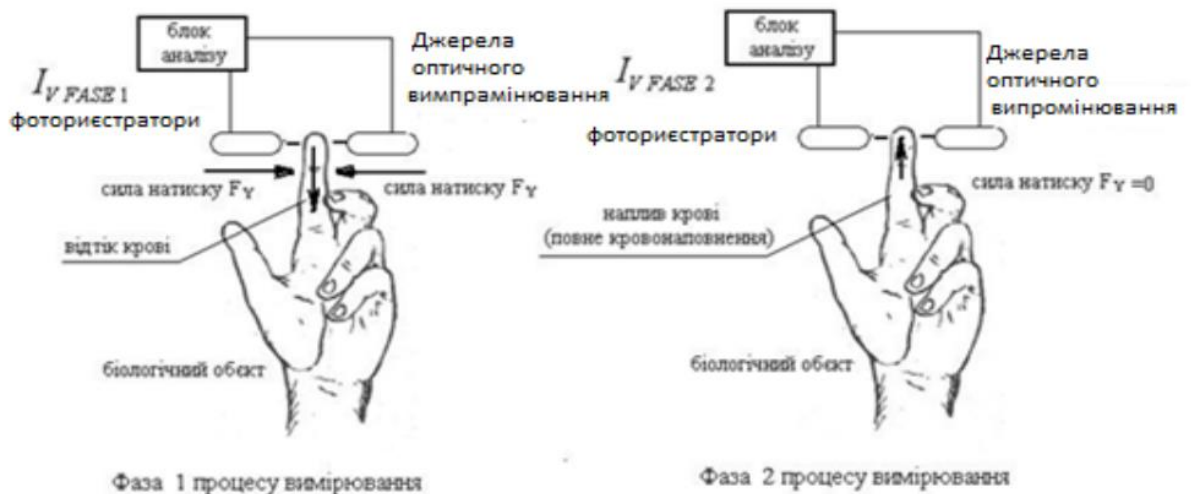


Рис. 1.12. Методика визначення концентрації глюкози у крові людини

Дослідження спрямоване на використання двофазного вимірювання на двох довжинах хвиль для фіксації поглиненого оптичного випромінювання, що проходить крізь тканини. Воно складається з таких етапів:

Фаза 1: Вимірювання інтенсивності випромінювання I_{out} , що пройшло через тканини, при зниженні об'єму крові в досліджуваній зоні (наприклад, у тонких тканинах пальців рук або мочки вуха). Це досягається шляхом прикладання поперечної сили тиску F_y до зони вимірювання.

Фаза 2: Вимірювання інтенсивності пройденого випромінювання I_{out} без відтоку крові після завершення фази 1, коли сила натиску $F_y=0$;

Фаза 3: Порівняння результатів експериментальних вимірювань здійснюється шляхом обчислення різниці середніх арифметичних значень отриманих фотострумів на двох різних довжинах хвиль:

$$I_{out} = I_{VFAS1} - I_{VFAS2} \quad (1.1)$$

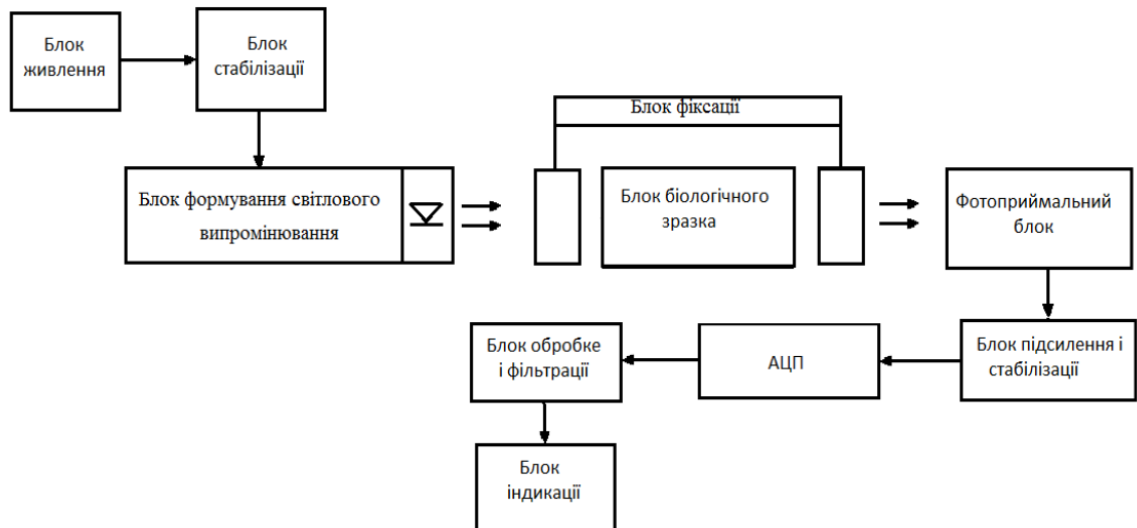


Рис. 1.13. Структурна схема пристрою для вимірювання показників глюкози в крові

Цей метод дозволяє оцінювати вплив кровотоку на поглинання світла в тканинах, що є важливим для ряду медичних застосувань, таких як оцінка мікроциркуляції та стану тканин.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I

У результаті проведеного у першому розділі аналізу сучасної літератури з даної проблематики можна зробити висновок, що оптичні методи дослідження мають ряд важливих застосувань в науці та медицині.

У цьому розділі:

1. Проаналізовано фізичні основи застосування оптичних методів в біомедичних дослідженнях. Наведено класифікацію об'єктів спектрофотометричних методів в біомедичних дослідженнях.

2. Наведено різновиди оптичних методів дослідження. Описано переваги й особливості приладів та методів, що визначають сферу їхнього застосування.

3. Наведено перспективи використання оптичних методів дослідження в медицині. Описано можливий моніторинг рівня глюкози хворих на цукровий діабет. В результаті чого можна стверджувати, що розробка неінвазивних методів і засобів контролю та діагностики життєвих процесів є важливим напрямом сучасної медицини, біотехнологій і науки про здоров'я. Це дає можливість проводити моніторинг фізіологічних параметрів, виявляти захворювання та відстежувати стан організму без необхідності втручання в тканини або органи пацієнта.

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ КРОВІ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ

2.1 Методичні рекомендації щодо вивчення оптичних методів дослідження живих клітин організмів в курсі природознавства

Оптичні методи дослідження живих клітин є фундаментальним аспектом вивчення біологічних наук. У рамках курсу природознавства ці методи дозволяють учням детально ознайомитися з будовою та функціями клітин, сприяючи глибшому розумінню біологічних процесів. Вивчення оптичних методів дослідження живих клітин у рамках проєктної діяльності на уроках природознавства дозволяє учням глибше ознайомитися з основами мікроскопії та біологічних досліджень. Цей підхід сприяє розвитку пізнавальної активності, критичного мислення та навичок самостійного наукового дослідження [20].

Щоб проявити зацікавленість в учнів щодо вивчення оптичних методів дослідження живих клітин організмів у курсі природознавства, можна використовувати різноманітні підходи, які роблять навчання більш інтерактивним, наочним і пов'язаним з реальним життям. Одним із головних завдань нової сучасної школи є пошук оптимальних шляхів зацікавлення учнів у навчальному процесі. Сучасні технології, зміна підходів до навчання та інтеграція різних методів можуть значно підвищити інтерес учнів до предметів і допомогти їм глибше зрозуміти матеріал.

Проектна діяльність дозволяє учням розвивати низку важливих навичок і компетенцій, а також глибше залучитися до процесу навчання. Завдяки такій діяльності учні можуть розвивати критичне мислення та творчі здібності, застосовувати теоретичні знання на практиці, розвивати навички співпраці та командної роботи, самостійно планувати та організовувати роботу, покращувати навички дослідження та пошуку інформації, інтегрувати знання з різних предметів та ін..

Проектна діяльність є ефективним інструментом для розвитку в учнів ключових компетенцій, необхідних для їхнього успіху в навчанні та

подальшому житті. Вона робить навчання більш цікавим, мотивуючим та практично спрямованим. У процесі виконання проєктів учні часто займаються дослідженням певної теми, вивчають літературу, шукають інформацію в інтернеті та аналізують отримані дані. Це допомагає розвивати вміння працювати з джерелами інформації та формувати навички дослідника. Проєкти дозволяють учням отримати досвід вирішення реальних проблем, що може бути корисним у майбутній професійній діяльності. Це також допомагає їм визначитися з майбутніми інтересами та кар'єрними можливостями [21].

Таблиця.2.1. Класифікація проєктів

Параметр	Вид проєкту	Характеристика	Форма продукту
Кількість учасників	Індивідуальний	Увесь проєкт виконується однією особою (розрахований на учня з високою успішністю)	Залежить від виду діяльності
	Груповий	Від учнів вимагається розподіл обов'язків, спільне вирішення складних питань, уміння керувати і виконувати вказівки товаришів	
Вид діяльності учнів	Творчий	Зміст і структура залежать від креативності, інтересів авторів. Більше підходять для проєктів з гуманітарних наук	Збірник творів, словник, вистава (тематичний вечір) тощо
	Рольовий (ігровий)	Передбачається робота груп учнів, які виконували окремі завдання з однієї теми, з метою аналізу, узагальнення, висновків і вироблення кінцевого продукту спільної діяльності	Шкільні стіннівки, буклети, урок-конференція, зведена доповідь тощо
	Дослідницький	Максимально наближений до наукового дослідження із зазначенням актуальності теми, мети, завдання, об'єкта і предмета вивчення, етапів, наукової новизни результатів роботи, експерименту, практичного значення дослідження і переліку літературних джерел	Науковий реферат (доповідь), інформаційний стенд
	Інформаційний	Для реалізації необхідно зібрати, проаналізувати і зробити висновки щодо інформації про об'єкт, що вивчається. Не передбачає експериментальної роботи	Науковий реферат (доповідь), інформаційний стенд, буклет
	Практико-орієнтований	За результатами цього проєкту створюється суспільно-корисний продукт. Може бути продовженням дослідницького проєкту	Шкільна стіннівка, інформаційний стенд, сценарій тематичного вечора, виставка робіт
Час виконання (тривалість)	Міні-проєкт	Виконується впродовж уроку	Залежить від виду діяльності
	Короткостроковий	Виконується в позаурочний час у межах вивчення теми	
	Довгостроковий (річний)	Виконується в позаурочний час протягом тривалого часу (рік і більше). Більше підходить для вивчення змін геофізичних, фізичних, хімічних показників конкретного природного об'єкта	
Характер координації	Проєкт із прихованою координацією	Учитель є повноправним учасником проєкту	» »
	Проєкт з відкритою координацією	Учитель виконує організаторську, координаторську, контролюючу функції	

Проєктно-пошукова діяльність вирішує низку різнорівневих дидактичних, виховних і розвивальних завдань, що робить її одним із найефективніших методів сучасного навчання. Завдяки такій діяльності учні не тільки здобувають знання, але й розвивають важливі навички, формується їх особистість і мотивація. Ось основні завдання, які вирішує проєктно-пошукова діяльність:

1. Дидактичні завдання. Проєктно-пошукова діяльність сприяє:

- Засвоєнню знань з різних предметів: учні вивчають інформацію через дослідження і практичні завдання, що допомагає глибше зрозуміти матеріал.
- Інтеграції знань з різних дисциплін: учні вчаться поєднувати інформацію з кількох галузей, що розвиває системне мислення і міжпредметні зв'язки.
- Підвищенню інтересу до навчання: учні працюють над проєктами, які є для них цікавими і мають практичне значення, що стимулює їх до активного навчання.
- Застосуванню знань на практиці: учні використовують теоретичні знання для вирішення реальних проблем, що робить навчання більш прикладним та ефективним.

2. Виховні завдання. Проєктно-пошукова діяльність розвиває:

- Почуття відповідальності: учні вчаться відповідально ставитися до своїх обов'язків у рамках проєкту, оскільки від їхнього внеску залежить загальний результат.
- Навички співпраці: робота в групах допомагає розвивати комунікаційні здібності, вміння працювати в команді, вирішувати конфлікти та знаходити компроміси.
- Ініціативність і самостійність: учні вчаться брати ініціативу, пропонувати ідеї, самостійно приймати рішення і нести відповідальність за їх реалізацію.
- Формування моральних цінностей: під час роботи над проєктами учні стикаються з етичними питаннями, вчаться відповідально ставитися до своєї діяльності та враховувати інтереси інших людей.

3. Розвивальні завдання. Проєктно-пошукова діяльність сприяє розвитку:

- Критичного мислення: учні вчаться аналізувати інформацію, ставити під сумнів факти, робити логічні висновки, шукати аргументи та знаходити рішення на основі досліджень.

- Творчого підходу: під час проєктів учні розвивають уяву, креативність, знаходять інноваційні підходи до вирішення проблем.

- Дослідницьких навичок: проєктна діяльність включає пошук і опрацювання інформації, експериментування та аналіз даних, що допомагає учням розвивати навички дослідника.

- Навичок планування і тайм-менеджменту: учні вчаться планувати свою роботу, організовувати час, розподіляти завдання та дотримуватись термінів.

- Особистісного розвитку: проєкти сприяють розвитку самостійності, впевненості в собі, лідерських здібностей і мотивації до подальшого навчання.

4. Соціальні завдання. Проєктно-пошукова діяльність також виконує важливу соціальну функцію:

- Розвиток комунікативних навичок: учні вчаться ефективно спілкуватися з іншими учасниками команди, презентувати свої ідеї та переконливо захищати проєкти.

- Навчання співпраці з різними групами: проєкти часто включають взаємодію з учнями з різними інтересами і здібностями, що допомагає розвивати толерантність і вміння працювати в колективі.

- Соціальна активність: проєкти, пов'язані з соціальними питаннями або екологією, можуть мотивувати учнів до участі у вирішенні актуальних суспільних проблем і виховувати активну громадянську позицію.

5. Пізнавальні завдання. Розвиток інтересу до нових знань: проєкти мотивують учнів активно шукати інформацію, ставити запитання і знаходити відповіді на них.

Формування наукового підходу: учні вчаться систематизувати інформацію, аналізувати її, робити висновки та обґрунтовувати свої результати.

Таким чином, проєктно-пошукова діяльність є комплексним інструментом, який вирішує не тільки суто освітні завдання, але й сприяє всебічному розвитку особистості учнів, формує в них соціальні та особистісні компетенції, необхідні для успішного життя та роботи в сучасному суспільстві [22].

Головні умови організації роботи над проєктом

Професіоналізм учителя. Вчитель повинен добре розуміти особливості проєктної методики та можливості, які вона надає для розвитку учнів. Важливо, щоб учитель був компетентний у використанні проєктної діяльності для стимулювання навчання та розвитку.

Навчання учнів. Учні повинні оволодіти природничо-науковою компетентністю та навичками проєктної діяльності. Вони мають вміти визначати мету та завдання проєкту, бачити предмет дослідження, планувати свою діяльність та діяльність своїх товаришів.

Прагнення учнів. Учні повинні бути мотивовані брати участь у проєктній роботі. Вони повинні мати достатній рівень знань з біології, а також загальнонавчальні та інтелектуальні вміння.

Завершення роботи. Почавши спільну роботу над проєктом, важливо довести її до кінця, узгоджуючи проміжні результати з учителем на кожному етапі.

Інформування про хід проєкту. Потрібно постійно інформувати учасників про прогрес у реалізації проєкту.

Основні структурні елементи виконання проєкту

1. Визначення мети проєкту та постановка проблеми. Чітке формулювання цілей проєкту і визначення основної проблеми для дослідження.
2. Складання плану виконання проєкту
3. Визначення термінів виконання.
4. Вибір учасників проєкту.
5. Визначення форм презентації результатів.
6. План реалізації проєкту:

- Організація груп та розподіл завдань між групами або в самій групі.
- Визначення джерел інформації та збирання необхідних даних.
- Аналіз і систематизація зібраної інформації, висування гіпотез.
- Підведення підсумків та оформлення результатів у письмовій формі.
- Проведення презентацій проєктів у різних формах, таких як звіт, круглий стіл або прес-конференція. Широке використання стіннівок, альбомів, плакатів та фотоматеріалів.
- Спільне обговорення результатів дослідження.

Вимоги до проєкту

1. Ініціатива щодо розробки проєкту може виходити від учнів, але тема може бути запропонована вчителем. Всі групи в класі працюють над однією темою, проте їхні підходи до розв'язання завдань можуть відрізнятися.
2. Проєкт повинен мати значення для найближчого оточення учнів і бути важливим для їхнього середовища.
3. Робота над проєктом має мати дослідницький характер і надавати педагогічну цінність, забезпечуючи здобуття нових знань, формування нових відносин і загальні навчальні вміння учнями.
4. Проєкт планується і розробляється спільними зусиллями вчителя і учнів, з можливістю коригування та змін в процесі реалізації.
5. Проєкт підтримується всередині класу і школи для підвищення мотивації участі та розуміння його суспільної важливості.
6. Проєкт має бути реалістичним, мати практичну цінність і враховувати можливості учнів, охоплюючи широкий спектр тем [23].

Розробка інструкції для створення проєкту з напрямку вивчення оптичних методів дослідження складу крові людини

Проєкт на тему дослідження складу крові людини може включати наступні етапи:

- Визначення теми і мети проєкту: Обговорення з учнями та вчителем теми дослідження (склад крові) і формулювання цілей проєкту.
- Планування дослідження: Розроблення методики дослідження складу крові, визначення критеріїв аналізу і обрання методів дослідження.
- Збір і аналіз інформації: Збір біологічних проб крові для подальшого аналізу. Використання спеціального обладнання або лабораторних методів для вимірювання складу крові (таких як вміст різних типів клітин, гемоглобіну, заліза тощо).
- Обробка результатів: Аналіз отриманих даних, вивчення та інтерпретація результатів дослідження складу крові.
- Підготовка звіту і презентації: Підготовка звіту про дослідження, який включає в себе опис методів, отримані результати та їх аналіз. Підготовка презентації для представлення проєкту в класі або на шкільному рівні.
- Реалізація проєкту і взаємодія з аудиторією: Проведення презентації проєкту, обговорення отриманих результатів та їх важливості для розуміння здоров'я та медицини.

Цей проєкт не лише дозволяє учням глибше зрозуміти біологічні процеси в організмі людини, але й розвиває навички дослідницької роботи та аналізу даних.

2.2 Визначення енергетичних оптичних характеристик зразків крові за допомогою універсального фотометра

При падінні випромінювання на тіло можна визначити відповідно коефіцієнти відбивання, поглинання, пропускання. Кожен із цих коефіцієнтів залежить від довжини хвилі. Це пояснює, чому різні речовини, на які спрямоване видиме випромінювання з однаковим спектральним складом, виглядають різнокольоровими. Коефіцієнти поглинання та відбивання світла вимірюються за допомогою фотометричних і спектрофотометричних приладів.

Принцип дії фотометра базується на порівнянні двох світлових потоків. Два світлових пучки I та II (див. рисунок) проходять через регульовані

діафрагми 2, які налаштовуються за допомогою вимірювальних барабанів 1. Після цього пучки об'єднуються завдяки системі лінз і ромбічних призм 3, а далі потрапляють до біопризми 4, яка спрямовує обидва пучки в окуляр 5. Перед цим світлові пучки проходять крізь світлофільтр 6. Конструкція окуляра формує поле зору у вигляді кола, розділеного на дві половини з різною яскравістю. Ліва половина освітлюється потоком, що проходить через праву діафрагму, а права половина — потоком через ліву діафрагму.

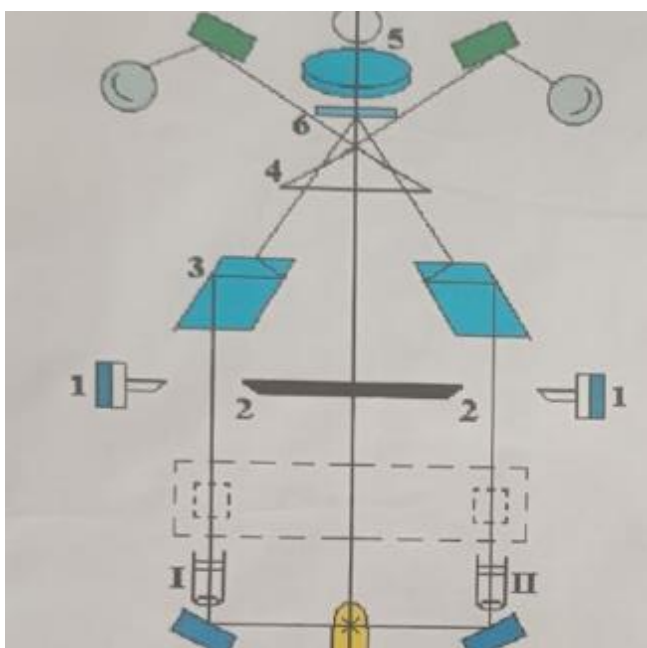


Рис. 2.1. Будова універсального фотометра

При однаковому відкритті діафрагм та освітленні їх яскравість обох половин поля зору буде однаковою. Якщо на шляху одного з пучків, наприклад I, розмістити зразок матеріалу, який частково поглинає або відбиває світло, яскравість відповідної половини зменшиться. Для вимірювання яскравостей полів потрібно зменшити інтенсивність пучка II шляхом зменшення відкриття відповідної діафрагми.

На вимірювальних барабанах нанесено дві шкали — чорну і червону. Поділки чорної шкали показують відношення площі діафрагми S при даному її розкритті до площі S_0 при її максимальному розкритті. Червона шкала на вимірювальних барабанах є шкалою оптичних густин.

Оптичною густиною D речовини називається логарифм величин, оберненої до коефіцієнта пропускання:

$$D = \lg \frac{1}{\tau} \quad (2.1)$$

Між оптичною густиною D і товщиною l прозорої речовини на основі закону Бугера встановлюється простий зв'язок. Згідно з законом Бугера, $I = I_0 e^{-\alpha l}$, де I і I_0 - поверхневі густини потоку випромінювання до проходження через речовину і після проходження через шар речовини товщиною l , α – лінійний коефіцієнт поглинання. Тоді коефіцієнт пропускання $\tau = e^{-\alpha l}$ і оптична густина $D = \alpha l$.

Як було зазначено раніше, принцип конструкції та роботи приладу полягає у врівноваженні двох світлових потоків шляхом регулювання одного з них за допомогою діафрагми зі змінним отвором. Два паралельних світлових пучки, що виходять із освітлювача, відбиваються від дзеркала й прямують до окуляра, проходячи через дві діафрагми фотометричної головки. Ступінь відкриття діафрагм налаштовується поворотом барабанів 10 із червоною та чорною шкалами. Світловий пучок від лівого конденсора освітлює праву частину поля зору в окулярі, а від правого — ліву частину [11].

При потребі на шляху світлових пучків розміщують світлофільтри, номери яких можна побачити у прорізі револьверного диска. В окулярі спостерігач бачить поле зору у вигляді кола, розділеного лінією на дві частини. Якщо обидві діафрагми однаково відкриті та освітлені, то яскравість обох половин поля зору буде однаковою. Коли на шляху одного зі світлових пучків розміщується речовина, що частково поглинає світло, фотометрична рівновага порушується, і одна частина поля зору стає темнішою. Щоб вирівняти яскравість обох частин, потрібно зменшити яскравість того пучка світла, в якому немає речовини, що частково поглинає світло. Це досягається зміною розміру отвору діафрагми, обертаючи один із барабанів.

Таблиця 2.2 Коефіцієнти пропускання для зразка крові №1

Довжина хвиль, нм	400	440	490	540	582	597	665	726
Зразок 1 (людини з захворюванням цукрового діабету)	23,65	22,66	14,85	20,7	8,11	23,6	25,6	30,6
	23,00	23,65	15,81	15,6	15,7	29,5	21,7	35,7
Середнє значення τ , %	23,325	23,155	15,33	17,5	11,9	26,55	23,45	33,15

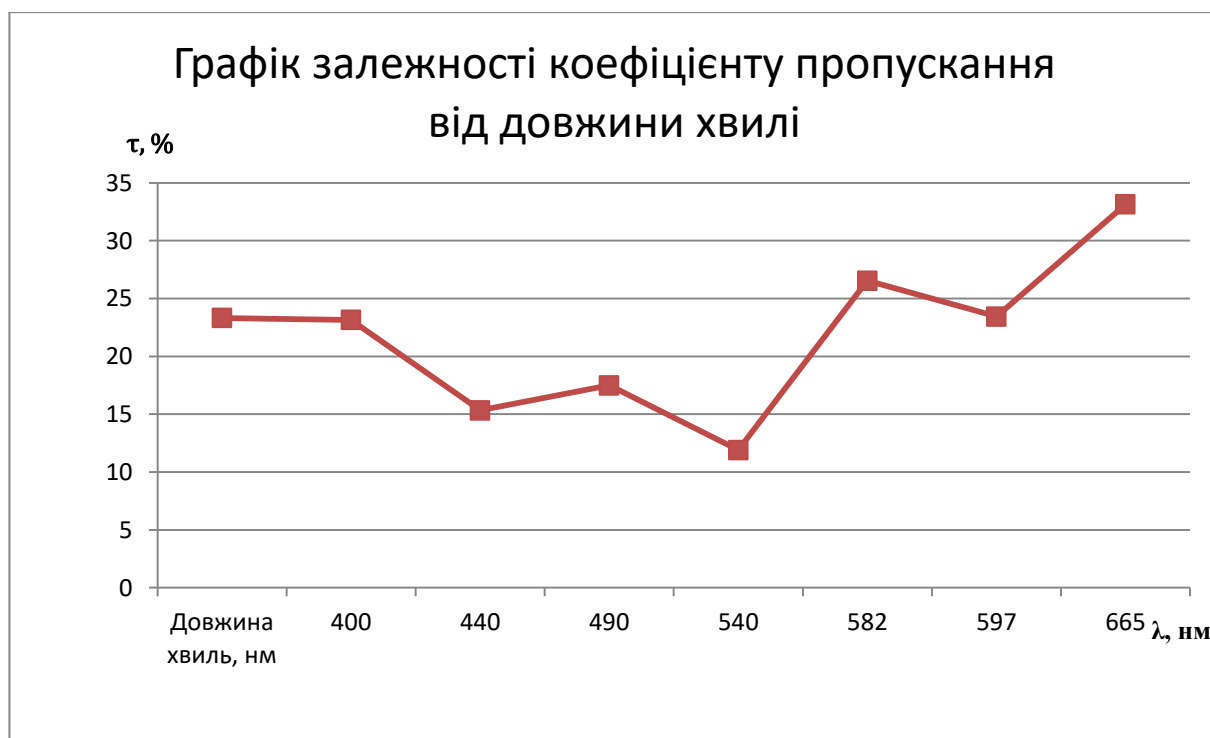


Рис.2.2. Графік залежності коефіцієнту пропускання від довжини хвилі

Таблиця 2.3. Коефіцієнти пропускання для зразка крові №2

Довжина хвиль, нм	400	440	490	540	582	597	665	726
Зразок 2 (людини з захворюванням) τ , %	97	63,2	93,05	65,15	54,25	26,6	15	14
	93,04	64,2	92,05	56,25	54,25	28,6	12	12
Середнє значення τ , %	95,2	63,7	92,55	60,7	54,25	27,6	13,5	13

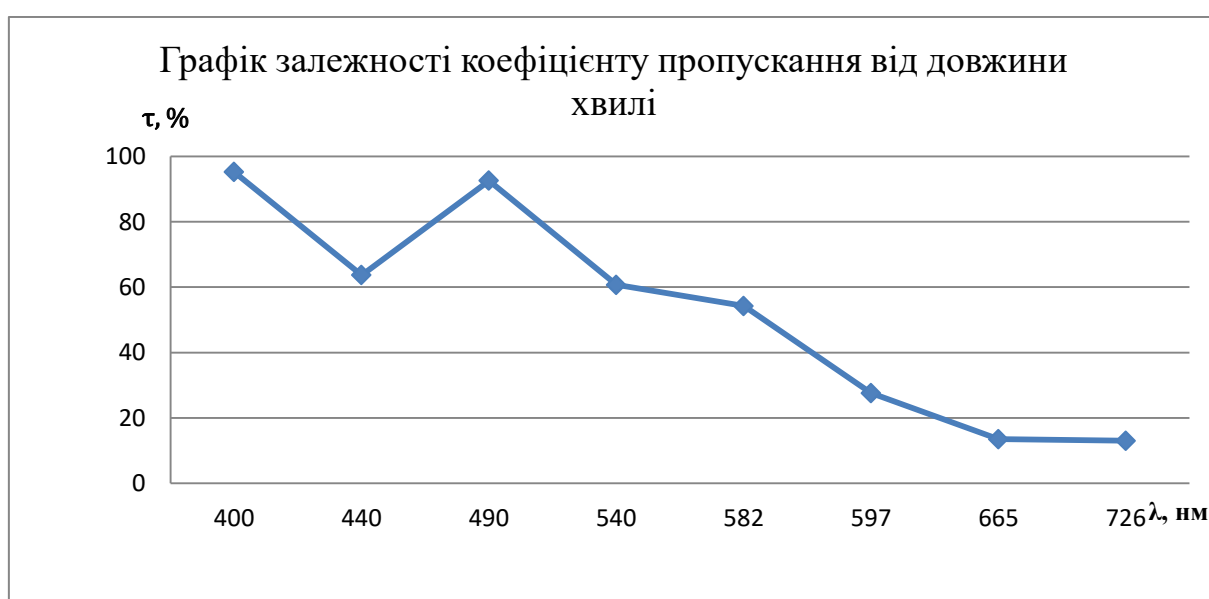


Рис.2.3. Графік залежності коефіцієнту пропускання від довжини хвилі

Обрахуємо оптичну густину та коефіцієнт поглинання для двох зразків:

Таблиця 2.4. Значення оптичної густини та коефіцієнту поглинання для відомих зразків.

Зразок крові 1 (людини з захворюванням цукрового діабету)			Зразок крові 2 (людини з захворюванням)		
τ , %	D	α , мм ⁻¹	τ , %	D	α , мм ⁻¹
23,325	0,63	0,97	95,2	0,02	0,03
23,155	0,64	0,98	63,7	0,2	0,3
15,33	0,81	1,24	92,55	0,04	0,06
17,5	0,75	1,15	60,7	0,22	0,33
11,9	0,92	1,41	54,25	0,26	0,4
26,55	0,57	0,87	27,6	0,56	0,86
23,45	0,62	0,95	13,5	0,86	1,3
33,15	0,47	0,72	13	0,85	1,3

У даному експерименті було розглянуто методику визначення енергетичних оптичних величин зразків матеріалів за допомогою універсального фотометра. На основі проведених експериментів вдалося отримати значення таких параметрів, як коефіцієнт поглинання, коефіцієнт пропускання та оптична густина досліджуваних зразків. Використання універсального фотометра дозволило забезпечити вимірювання, що є критично важливим для подальшого аналізу оптичних властивостей матеріалів.

Отримані результати підтверджують ефективність використаного методу для аналізу оптичних характеристик різних матеріалів та можуть бути використані для подальших досліджень в області оптики та медицини. Дані, отримані в процесі дослідження, також можуть слугувати основою для розробки нових методів лікування з визначеними оптичними властивостями.

Для забезпечення ще більшої точності та розширення діапазону досліджуваних зразків рекомендується подальше удосконалення методики вимірювань, а також використання більш сучасних фотометричних приладів.

2.3 Дослідження зміни показників крові методом оптичної мікроскопії

Внутрішнє середовище організму представлене кров'ю і лімфою. Кров складається з формених клітин (еритроцити, тромбоцити, лейкоцити), що

знаходяться в плазмі - рідкому середовищі крові. До характеристик крові відноситься не тільки кількісний показник вмісту формених клітин в плазмі, але і розмір самих клітин, а також їх об'єм.

Еритроцити - червоні кров'яні тілця, виконують функцію транспортування: доставляють молекули кисню від легенів до тканин, органам, і вуглекислий газ у зворотньому напрямку.

Показник норми розміру еритроцитів становить 7 -7.5 мікрометрів в діаметрі, такі клітини називають нормоцити. Діаметр менше 6,9 мкм характерний для мікроцитів. Клітини розміром, що перевищує 8 мкм, називаються макроцити, понад 12 мкм - мегалоцити. У нормальному середовищі крові нормоцити становлять 70% від загального обсягу еритроцитів, мікроцити і макроцити - 15%. Зміна розмірів еритроцитів і як наслідок, відхилення в співвідношенні об'єму кров'яних тіл, називається анізоцитоз еритроцитів.

Залежно від процентного співвідношення різних форм еритроцитів виділяють анізоцитоз:

- 1 ступеня (вміст мікро і макроцитів становить вище 30%, але нижче 50% від загального обсягу еритроцитів);
- 2 ступеня (вище 50%, нижче 70%);
- 3 ступеня (вище 70%);
- 4 ступеня (повне заміщення нормоцитів зміненими клітинами).
- мікроцитоз (підвищений вміст мікроцитів);
- макроцитоз (переважають макроцити, їх рівень вище)
- змішаний тип (змінена кількість, як мікро, так і макроцитів).

Причини

- Зміна діаметра еритроцитів може статися в результаті: анемії (рівень заліза в організмі знижений);
- прийому залізовмісних препаратів на початковій стадії лікування анемії;

- нестачі вітамінів А чи В12;
- переливання крові;
- розвитку онкологічних захворювань;
- мієлодиспластичного синдрому (порушення утворення кров'яних клітин);
- хронічних інфекцій, ускладнень при застуді.

Анізоцитоз діагностується при здачі загального аналізу крові. Забір крові береться з пальця пацієнта найчастіше вранці, на голодний шлунок (у маленьких дітей через 2 години після годування). До проведення процедури слід виключити фізичні навантаження, емоційні потрясіння, переохолодження організму. Також на показник аналізу можуть вплинути прийом медичних препаратів (ліки бажано взяти за 12 годин до процедури або після неї), вагітність (спостерігається підвищений вміст мегалоцитів) [17].

При розшифровці результатів аналізу анізоцитоз позначається аббревіатурою RDW - індекс показника розподілу еритроцитів за об'ємом (RDW). Індекс RDW вимірюється в фемтолітрах або відсотках, норма RDW: 10-20 fl або 11.5% -14.5%.

Якщо індекс підвищений або знижений, це вказує на наявність деяких порушень в організмі, слід застосувати додаткові методи обстеження. При індексі RDW значно вище або нижче норми (3-4 ступеня анізоцитозу) необхідно повторити процедуру для підтвердження діагнозу.

Наявність макроцитозу у новонароджених є нормальним фізіологічним показником, який самостійно зникає до двох місяців життя. У зв'язку з підвищеною схильністю дітей до захворювання на залізодефіцитну анемію, низький рівень гемоглобіну ставати найбільш частою причиною розвитку анізоцитозу у дитини. Прийом залізовмісних препаратів також провокує зміну розміру кров'яних клітин, однак, у міру врівноваження концентрації гемоглобіну в крові, результати аналізу приходять в норму. Рідше причинами можуть стати вірусні та бактеріальні інфекції в організмі. При переливанні крові причиною розвитку патології може стати погане дослідження донорської

крові, таке захворювання зникає самостійно через деякий час. Більш важкі форми анізоцитозу у дітей формуються при онкозахворюваннях (метастази в кістковому мозку) і мієлодиспластичному синдромі [16].

Для змішаного типу анізоцитозу характерний показник змінених червоних клітин, не вище 50% від загального вмісту еритроцитів. Таке явище також є патологією. Для визначення процентного співвідношення мікро і макроцитів застосовують метод обчислення - крива Прайса- Джонса, отриману при дослідженні мазка крові. Підвищений показник макроцитів вказує на брак вітаміну В12 в організмі (перніціозна анемія). Переважання мікроцитів, швидше за все, пов'язано з наявністю залізодефіцитної анемії.

Тромбоцити - кров'яні клітини, що виконують функцію згортання крові. При аналізі крові оцінюється ширина розподілу тромбоцитів за загальним обсягом крові, що вказує на їх розмірне співвідношення. Зміна тромбоцитів в діаметрі (анізоцитоз) може бути викликано наявністю мієлопроліферативних процесів, нестачею біологічно активних речовин, розмір клітин змінюється перед початком агрегації (склеюванням тромбоцитів).

Анізоцитоз тромбоцитів спостерігається:

- при наявності тромбоцитопенії, тромбоцитопатії, гіпопластичного синдрому (більше 15% клітин схильне до зміни);
- результаті лейкемії (рак крові), метастазів в кістковому мозку;
- при променевій хворобі, анемії;
- при розвитку гепатиту, цирозу печінки;
- протягом вірусних захворювань;
- провокує прийом цитостатичних препаратів.

ЕКСПЕРЕМЕНТ

Дослідження зразків відбувалось на відеомікроскоп BRESSER Biolux LCD Touch 5 MP HDMI 30x-1200x.



Рис. 2.4. Фото під час роботи з мікроскопом

Для виконання дослідження було отримано зразки крові 6 людей, 1 з яких була здоровою та 1 жінка, яка була вагітною. Порівняємо отримані результати:

- **здорова людина**

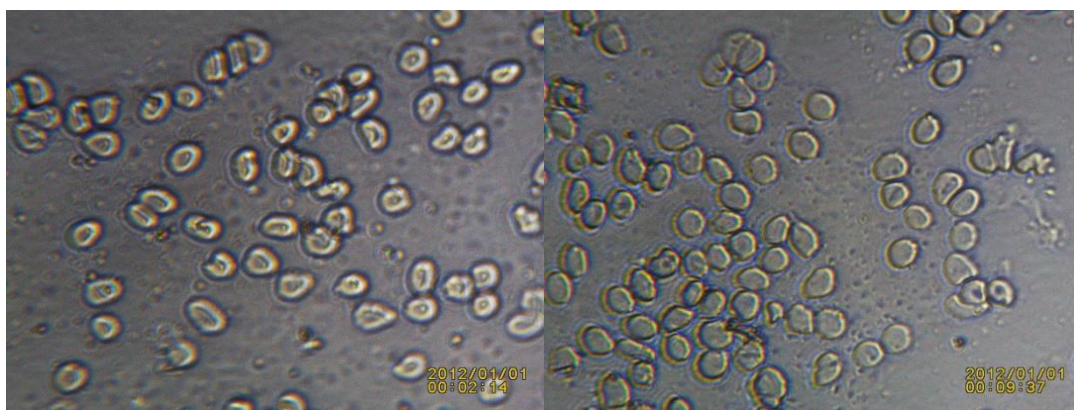


Рис. 2.5. Результати дослідження зразків здорової людини

Кількість мікроцитів – 40, макроцитів – 10. Помірно виражений Анізоцитоз.

- **хвора людина 1**

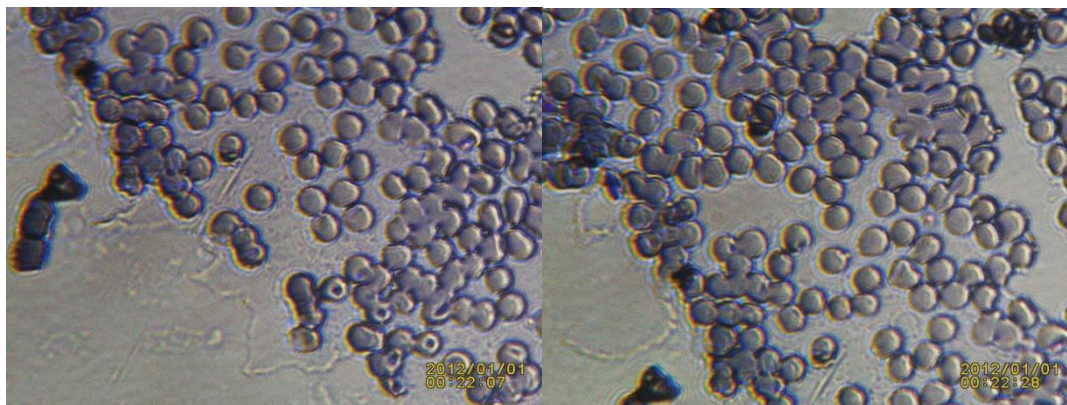


Рис. 2.6. Результати дослідження зразків 1 хворої людини
1 фото мікроцити 30, макроцити 60. 2 фото мікроцити 60, макроцити 90.
Висновок: сильно виражений Анізоцитоз.

- хвора людина 2

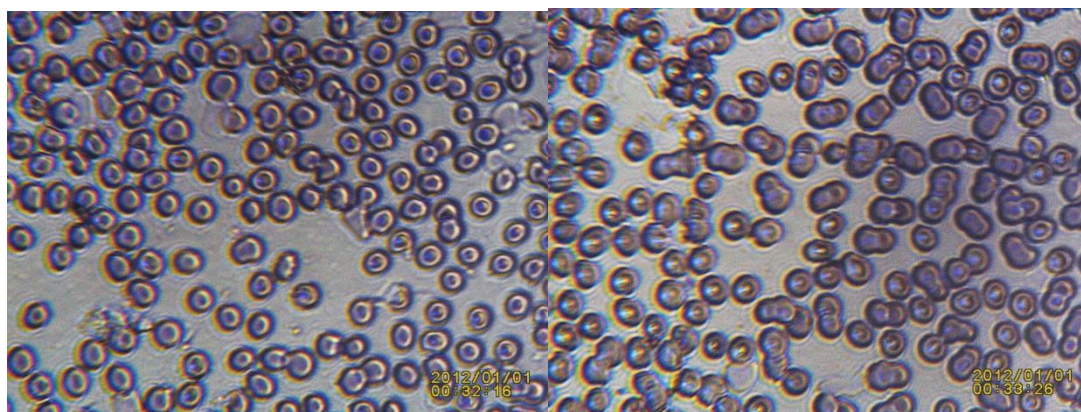


Рис. 2.7. Результати дослідження зразків 2 хворої людини
1 фото мікроцити 30, макроцити 60. 2 фото мікроцити 20, макроцити 70.
Висновок: сильно виражений Анізоцитоз.

- хвора людина 3

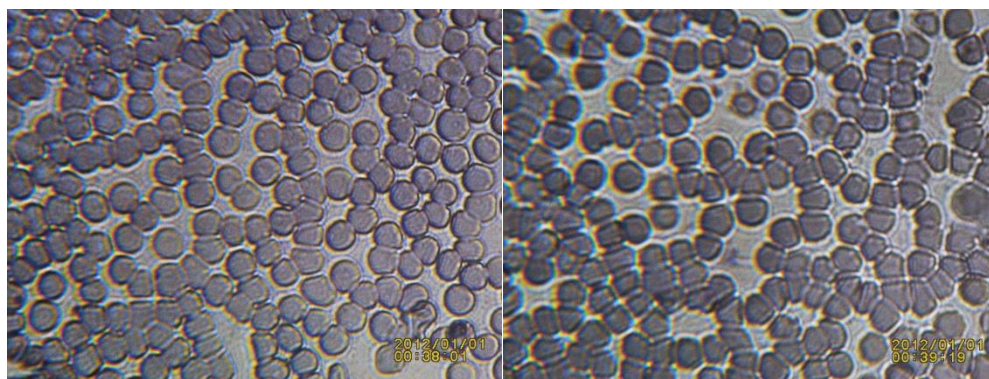


Рис. 2.8. Результати дослідження зразків 3 хворої людини

1 фото мікроцити 30, макроцити 60. 2 фото мікроцити 30 , макроцити 70.

Висновок: сильно виражений Анізоцитоз.

- вагітна жінка 4

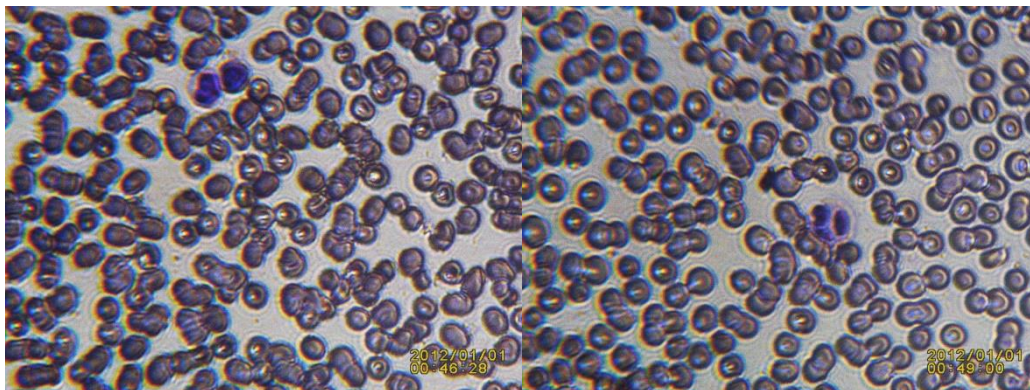


Рис. 2.9. Результати дослідження зразків 4 вагітної жінки

1 фото мікроцити 20, макроцити 80. 2 фото мікроцити 20, макроцити 70.

Висновок: сильно виражений Анізоцитоз.

- хвора людина 5

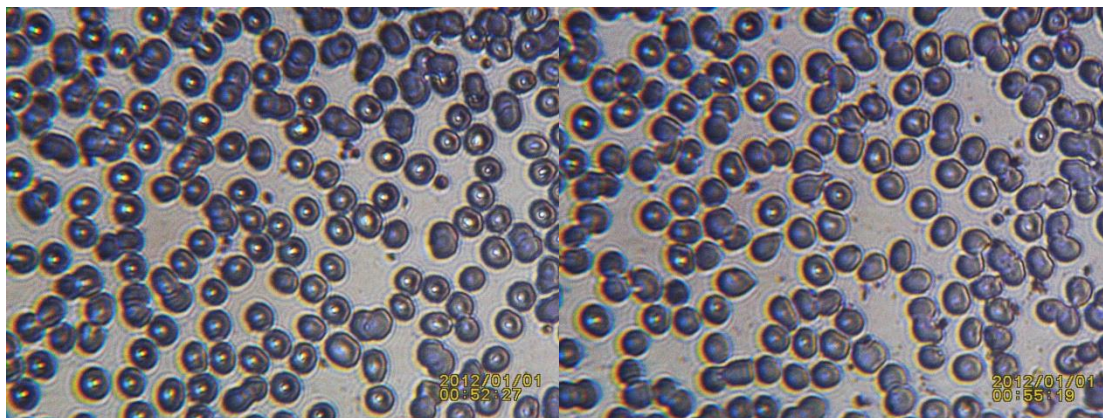


Рис. 2.10. Результати дослідження зразків 5 хворої людини

1 фото мікроцити 20, макроцити 70. 2 фото мікроцити 20, макроцити 60.

Висновок: сильно виражений Анізоцитоз.

Отримані результати підтверджують, що зміни морфологічних характеристик крові можуть вказувати на наявність патологічних процесів в організмі. Метод оптичної мікроскопії є важливим інструментом у діагностиці багатьох захворювань, оскільки дозволяє виявляти аномалії в структурі клітин крові на ранніх стадіях. Дослідження демонструє, що регулярний контроль

показників крові має значний вплив на своєчасне виявлення та ефективне лікування хвороб [19].

2.4 Застосування сучасних технологій та розробка інтерактивних вправ для вивчення оптичних методів дослідження клітин організму людини в курсі природознавства

На сьогоднішній день інтенсивний розвиток інформаційних технологій охоплює не лише бізнес та інформаційно-аналітичну діяльність, але й сферу освіти, що значно пришвидшує процес передачі знань та досвіду від однієї людини до іншої. Впровадження сучасних інформаційних технологій відкриває нові можливості для вдосконалення педагогічних методик викладання. Завдяки новітнім технологіям поліпшується організація освітнього процесу, а також розвиваються практичні вміння та навички студентів. Оскільки головною метою сучасної освіти є стійка мотивація до отримання знань та пошук інноваційних методик для їх засвоєння, використання інформаційних технологій сприяє підвищенню професійної майстерності викладачів та покращенню якості освіти. Значні досягнення у сфері комп'ютерних технологій, а також масова комп'ютеризація та цифровізація надають можливість максимізувати творчий підхід до викладання, роблячи заняття більш пізнавальними та індивідуальними.

Сучасний стан освіти в Україні вимагає нових підходів до підготовки. Очевидно, що професійно-технічна освіта в Україні стоїть перед серйозними викликами, які можуть бути ускладнені як обраними науковцями реформами, так і тим, як ці реформи будуть реалізовані в найближчому майбутньому. Безсумнівно, зміна освітніх цілей тягне за собою зміну функціонування всієї педагогічної системи та її компонентів, включаючи зміст освіти, що визначається інноваційними підходами [10].

Інтеграція сучасних технологій у викладання оптичних методів дослідження клітин має кілька важливих переваг:

- Підвищення мотивації учнів. Інтерактивні методи навчання роблять уроки більш цікавими та стимулюють студентів до активного вивчення предмету.
- Залучення до наукової діяльності. Сучасні технології дозволяють учням не тільки вивчати теорію, але й брати участь у реальних дослідженнях, розвиваючи навички наукової роботи.
- Підвищення якості освіти. Використання новітніх технологій підвищує ефективність навчання та дозволяє краще засвоювати складні теми.
- Доступ до найсучасніших знань. Завдяки інтеграції нових технологій учні мають можливість працювати з найсучаснішими дослідницькими методами, що підвищує їхню конкурентоспроможність на ринку праці в майбутньому.

LearningApps - це онлайн-платформа для створення і редагування інтерактивних навчальних вправ і ігор [5]. Ця платформа розроблена з метою полегшення навчання та забезпечення доступу до якісної освіти всім користувачам. На LearningApps можна знайти багато різних типів вправ, таких як відповіді на питання, сортування, з'єднання, кросворди, пазли тощо. Всі вправи створюються виключно користувачами, що дозволяє створювати навчальний контент, що відповідає конкретним потребам вчителів та учнів. LearningApps є безкоштовною та відкритою для всіх користувачів. Ця платформа дозволяє зареєстрованим користувачам створювати власні вправи, редагувати вже існуючі вправи та ділитися ними з іншими користувачами [15].

Існує низка шаблонів для простих мовних або навичок діяльності. Існують такі ігри та вікторини, як встановлення відповідності, ідентифікація, класифікація, заповнення пропусків, кросворди, заповнення відповідей, упорядкування, розставлення предметів на лінії та завдання з вибором відповідей. Ви також можете завантажувати саморобні або автентичні тексти, малюнки, аудіо чи відео під час створення чи адаптації вправ.

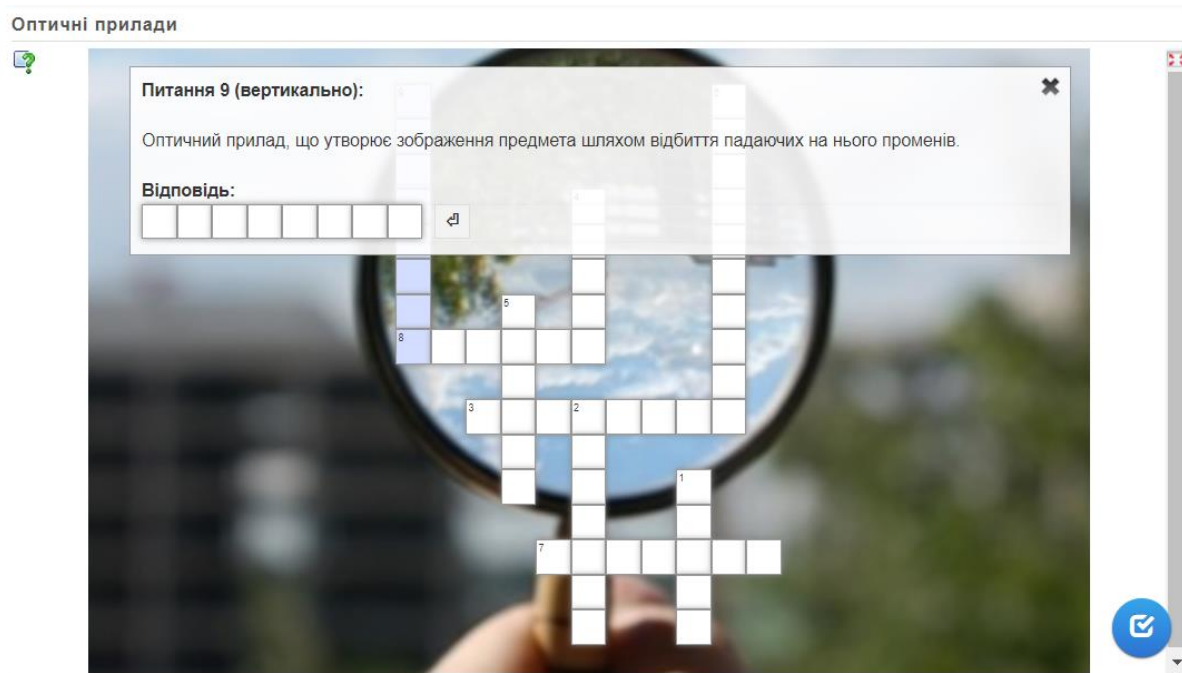


Рис. 2.11. Дидактичний засіб на основі шаблону «Кросворд»

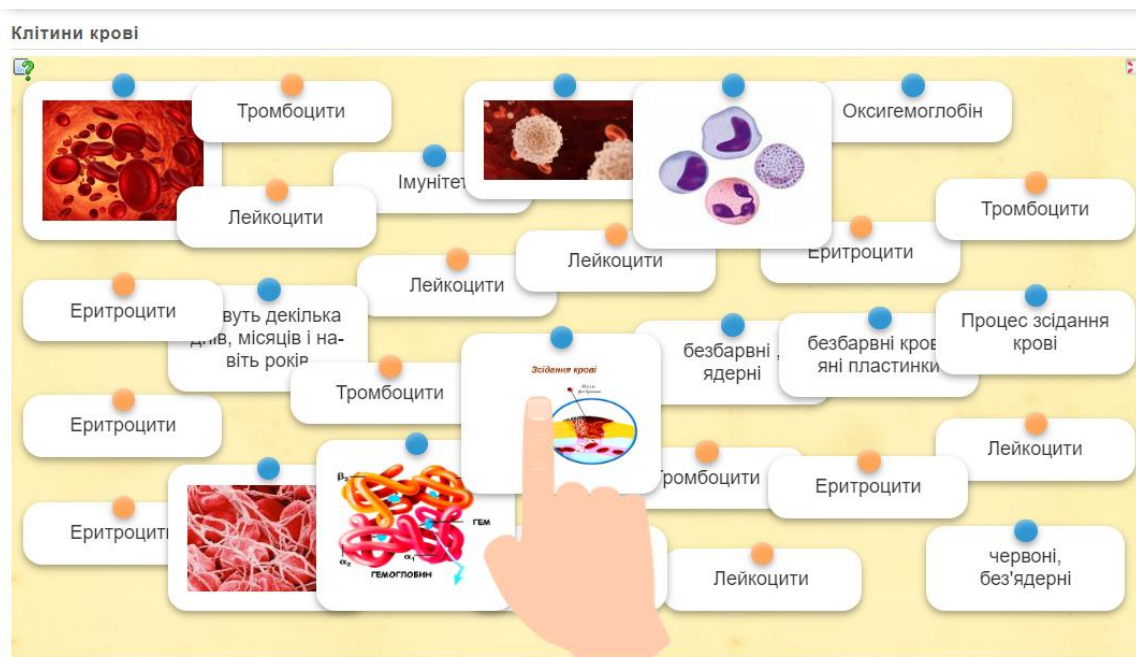


Рис. 2.12. Дидактичний засіб на основі шаблону «З'єднай пару»

У деяких видах діяльності LearningApps.org також є вікна чату, де учні та вчителі можуть додавати коментарі під час ігор, а також є деякі складніші змагальні завдання, які учні можуть грати в групах, змагаючись один з одним [15]. Окрім взаємодії один з одним, щоб виконати завдання, учні отримують задоволення від роботи один з одним, створюючи завдання для своїх

однокласників. Вони можуть співпрацювати, вибираючи тип завдання, знаходячи відповідні матеріали та продумуючи підказки та відгуки.

Медіатека - 3D-сцени - Цифрова освіта — це веб-ресурс, який пропонує інноваційний підхід до навчання через використання тривимірних (3D) моделей та сцен. Сайт є частиною ширшої ініціативи з розвитку цифрової освіти, орієнтованої на інтеграцію сучасних технологій у навчальний процес.

На сайті представлена велика кількість 3D-сцен, які охоплюють різні освітні дисципліни, такі як біологія, фізика, історія та багато інших. Ці сцени дозволяють студентам і викладачам взаємодіяти з навчальними матеріалами у візуальному та інтерактивному форматі, що значно покращує розуміння складних концепцій і сприяє кращому засвоєнню знань.

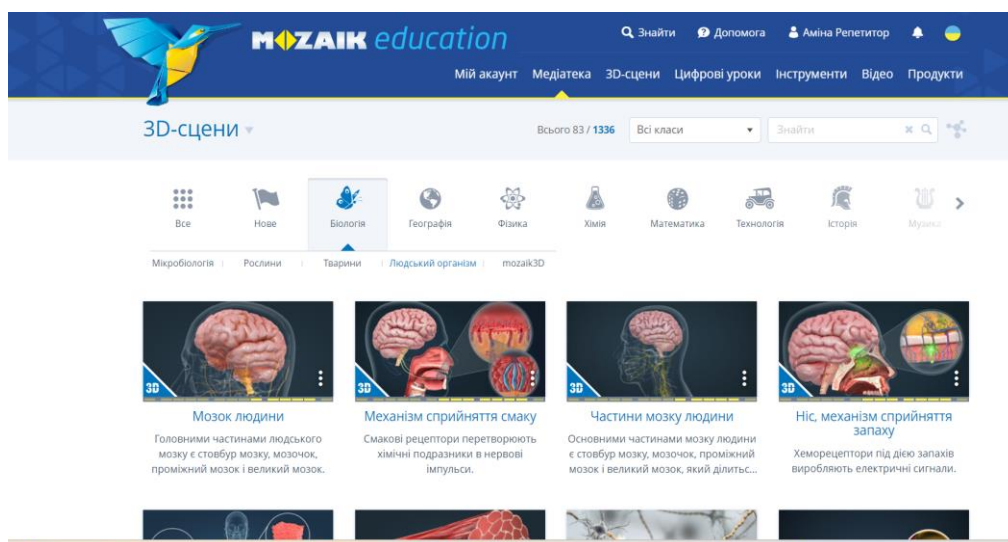


Рис. 2.13. Медіатека - 3D-сцени - Цифрова освіта

Користувачі можуть легко переглядати та маніпулювати 3D-моделями безпосередньо у веб-браузері, що робить навчання більш доступним і цікавим. Це ідеальний інструмент для використання в школах, університетах та інших навчальних закладах, які прагнуть підвищити рівень цифрової грамотності та зробити навчання більш інтерактивним і сучасним.

Ресурс також надає можливість викладачам створювати та інтегрувати власні 3D-сцени у свої курси, що дозволяє адаптувати навчальні матеріали під потреби конкретної аудиторії. Завдяки цьому, медіатека є незамінним

інструментом для розвитку цифрових навичок у студентів та покращення якості освіти в цілому.

Вивчення складу крові людини на уроках природознавства є важливою частиною навчального процесу, оскільки дозволяє учням зрозуміти основні функції крові та її складові. Це знання має велике значення для формування уявлення про роботу людського організму та про важливість здорового способу життя.

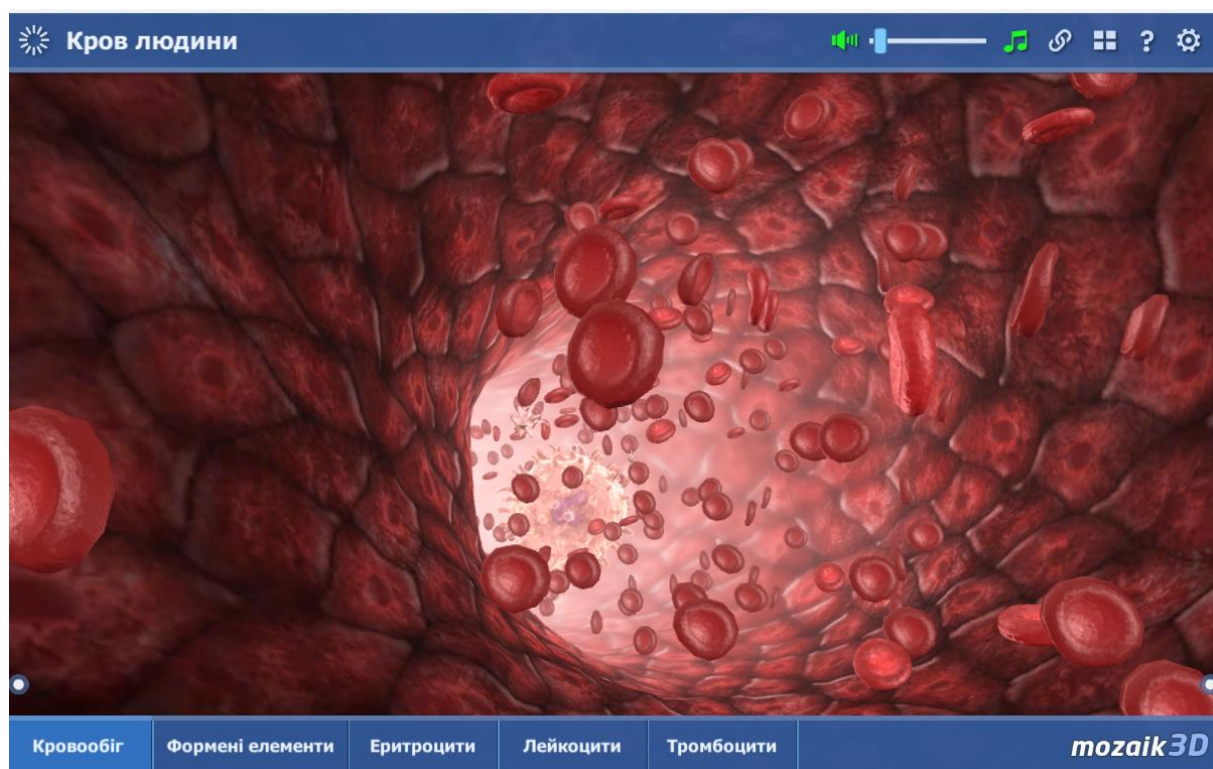


Рис. 2.14. Демонстрація кровообігу в організмі людини

На уроках природознавства можна використовувати різні методи для вивчення складу крові:

Мікроскопія: Учні можуть досліджувати зразки крові під мікроскопом, спостерігаючи за формою та розмірами кров'яних клітин.

Інтерактивні моделі: Використання цифрових 3D-моделей та віртуальних лабораторій дозволяє детально розглянути структуру і функції компонентів крові.

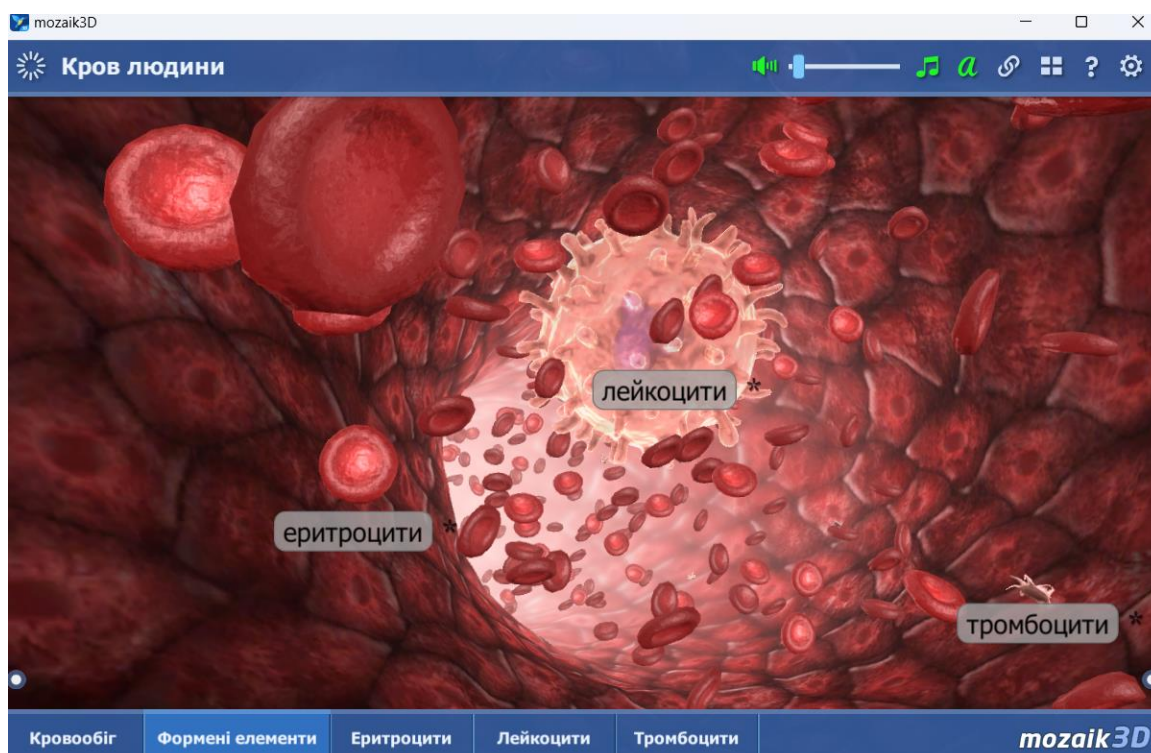


Рис. 2.15. Демонстрація кровообігу в організмі людини з урахуванням елементів

Експерименти: Учні можуть проводити прості досліді, які ілюструють, наприклад, процес згортання крові.

Розуміння складу крові допомагає учням усвідомити, як важливо підтримувати здоров'я кровоносної системи. Знання про те, як працюють різні компоненти крові, також є основою для подальшого вивчення біології та медицини [9].

Програми для телефону, які працюють як мікроскопи, використовують камеру пристрою та програмне забезпечення для збільшення зображення, дозволяючи розглядати дрібні деталі об'єктів.



Рис. 2.16. Демонстрація роботи мікроскопів з застосуванням смартфонів

Ось кілька популярних додатків, які можуть перетворити ваш смартфон на мікроскоп:

1. *Magnifier and Microscope+*

Цей додаток дозволяє використовувати камеру смартфона для збільшення зображення, як у мікроскопі. Він має функції збільшення, фокусування, а також може робити знімки та записувати відео з високою роздільною здатністю.

Особливості: збільшення до 10х, режим ліхтарика для роботи в умовах слабого освітлення, можливість робити знімки.

Платформа: Android.

2. *Cozy Magnifier & Microscope*

Цей додаток також пропонує можливість використовувати камеру телефону як мікроскоп. Він має зручний інтерфейс і дозволяє легко збільшувати зображення та робити знімки.

Особливості: різні режими збільшення, автофокус, можливість робити знімки.

Платформа: Android.

3. *Magnifying Glass + Flashlight*

Цей додаток поєднує в собі функції збільшувального скла та ліхтарика. Він простий у використанні і підходить для щоденних завдань, таких як читання дрібного тексту або перегляд дрібних об'єктів.

Особливості: збільшення до 5х, режим ліхтарика, можливість робити знімки.

Платформа: Android, iOS

Розглянуто застосування сучасних технологій при вивченні оптичних методів дослідження клітин організму людини в курсі природознавства. Використання інноваційних підходів, таких як цифрові мікроскопи, 3D-моделювання, а також інтерактивні навчальні платформи, дозволяє значно підвищити ефективність навчального процесу.

Завдяки впровадженню сучасних технологій учні отримують можливість детально досліджувати структуру клітин та їхні функції в реальному часі [23].

Під час проходження педагогічної практики в закладах середньої освіти було здійснено опитування серед учнів 5-6 класів, щодо доцільності використання інтерактивних вправ на уроках природознавства. Дослідження показало, що використання комп'ютерних технологій на уроках сприяє глибшому розумінню матеріалу та робить навчання більш захопливим і доступним.

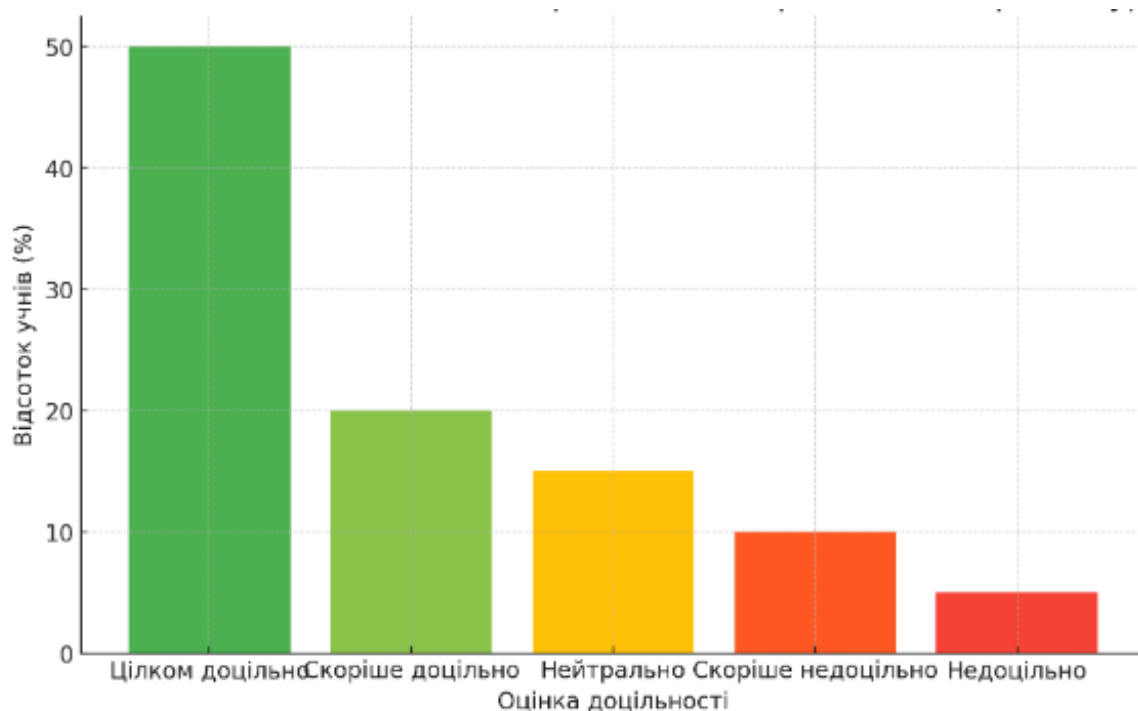


Рис. 2.17. Опитування учнів 5-6 класів, щодо доцільності використання інтерактивних вправ на уроках природознавства

Отримані знання і навички не тільки зміцнюють теоретичну базу учнів, але й готують їх до використання сучасних технологій у майбутніх професійних діяльностях. Таким чином, інтеграція оптичних методів дослідження з сучасними цифровими технологіями є важливим кроком на шляху до модернізації освітнього процесу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II

На основі проведених досліджень у другому розділі можна зробити висновок, що роль сучасних оптичних методів і технологій у науці та освіті посідає важливе місце. Визначення енергетичних оптичних характеристик крові за допомогою універсального фотометра та оптичного мікроскопа дає можливість виявляти порушення у функціонуванні кровоносної системи.

У другому розділі:

1. Описано методичні рекомендації щодо вивчення оптичних методів дослідження живих клітин організмів в курсі природознавства. Розроблено інструкції для вивчення даної теми за допомогою методу проєктів.

2. Розглянуто методику визначення енергетичних оптичних характеристик крові за допомогою універсального фотометра. На основі проведених експериментів було визначено значення таких параметрів, як коефіцієнт поглинання, коефіцієнт пропускання та оптична густина досліджуваних зразків крові. Дані, отримані в процесі дослідження, можуть слугувати основою для розробки нових методів лікування з визначеними оптичними властивостями. Показники α для 1 зразка крові здебільшого стабільні та досить високі порівняно з іншими значеннями. Високі значення можуть бути пов'язані з високим вмістом глюкози та можливою зміною структури клітин крові, що впливає на їх оптичні властивості. Найнижчі значення α для 2-го зразка свідчать про дуже слабе поглинання. Це може вказувати на низький вміст певних компонентів крові, які зазвичай поглинають світло, або на низьку концентрацію певних біомолекул. Такі низькі показники можуть бути типовими для станів, що впливають на зниження поглинальних властивостей крові, наприклад, для анемії.

3. Проведено дослідження зміни показників крові методом оптичної мікроскопії. Отримані результати підтверджують, що зміни морфологічних характеристик крові можуть вказувати на наявність патологічних процесів в організмі, а саме хвороби анізоцитоз. Порівнявши зразки крові здорових людей

та зі захворюваннями, можна виявляти аномалії в структурі клітин крові на ранніх стадіях.

4. Розроблено інтерактивні вправи для вивчення оптичних методів дослідження клітин організму людини в курсі природознавства. Наведено перелік додатків, які можуть перетворити смартфон учнів на мікроскоп. Проведене педагогічне дослідження показує, що інтерактивні інструменти допомагають зробити навчання більш захопливим і доступним, стимулюючи інтерес до вивчення природознавства та інших природничих наук.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі було проаналізовано сучасну наукову літературу присвячену вирішенню теоретичних і практичних завдань при застосуванні оптичних методів дослідження. На основі аналізу можна зробити висновок, що питання дослідження живих клітин організму людини потребує використання різних типів мікроскопів і методів дослідження. Кожен з методів має свої особливості та принципи роботи, що дають можливість визначати основні характеристики живих клітин організму.

2. Обґрунтовано методичні рекомендації щодо вивчення оптичних методів в шкільному курсі природознавства. Вивчення цих методів дослідження живих клітин у рамках проєктної діяльності на уроках природознавства дає можливість учням глибше ознайомитися з основами мікроскопії та біологічних досліджень. Такий підхід сприяє розвитку пізнавальної активності, критичного мислення та навичок самостійного наукового дослідження. В результаті описаних методичних рекомендацій було розроблено інструкцію для створення проєкту з напрямку вивчення оптичних методів дослідження складу крові людини.

3. Було визначено енергетичні оптичні характеристики зразків крові за допомогою універсального фотометра. На основі проведених експериментів було визначено значення таких параметрів, як коефіцієнт поглинання, коефіцієнт пропускання та оптична густина досліджуваних зразків крові. Показники α для 1 зразка крові здебільшого стабільні та досить високі порівняно з іншими значеннями. Високі значення можуть бути пов'язані з високим вмістом глюкози та можливою зміною структури клітин крові, що впливає на їх оптичні властивості. Найнижчі значення α для 2-го зразка свідчать про дуже слабе поглинання. Це може вказувати на низький вміст певних компонентів крові, які зазвичай поглинають світло, або на низьку концентрацію певних біомолекул. Такі низькі показники можуть бути типовими для станів, що впливають на зниження поглинальних властивостей крові, наприклад, для анемії.

4. Досліджено зміни показників крові методом оптичної мікроскопії. Отримані результати підтверджують, що зміни характеристик крові можуть вказувати на наявність патологічних процесів в організмі, а саме хвороби анізоцитоз. Дослідження демонструє, що регулярний контроль показників крові має значний вплив на своєчасне виявлення та ефективне лікування хвороб. Отже, метод оптичної мікроскопії є важливим інструментом у діагностиці багатьох захворювань, оскільки дозволяє виявляти аномалії в структурі клітин крові на ранніх стадіях.

5. Проаналізовано застосування сучасних технологій та розроблено інтерактивні вправи для вивчення оптичних методів дослідження. Зміна освітніх цілей тягне за собою зміну функціонування всієї педагогічної системи та її компонентів, включаючи зміст освіти, що визначається інноваційними підходами. Опитування серед учнів 5-6 класів, показало, що використання комп'ютерних технологій на уроках сприяє глибшому розумінню матеріалу та робить навчання більш захопливим і доступним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фізичні основи біомедичної оптики: Монографія С.Павлов, В.Кожем'яко, П.Колісник, Т.Козловська, В.Думенко. Вінниця : ВНТУ, 2010. 156 с.
2. Безуглий М.О. Особливості виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів фотометрів. М.О. Безуглий, І.І. Синявський, Н.В. Безугла, А.Г. Козловський. Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. 2016. С.76-81.85
3. Шевченко А.Ф. Основи медичної і біологічної фізики. К. : Медицина, 2008. 655 с.
4. Біологічна хімія з біохімічними методами дослідження: Підручник О.Я. Склярів, Н.В. Фартушок, Л.Д. Сойка, І.С. Смачило. К.: Медицина, 2009. 352 с.
5. Mozaik Education. Інноваційні цифрові освітні рішення. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mozaweb.com/uk/index.php> (дата звернення:27.03.2024).
6. Стратегії суперроздільної мікроскопії на основі флуоресценції для дослідження хроматину [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00412-023-00792-9> (дата звернення: 01.05.2024).
7. Флуоресцентна мікроскопія [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://intergen.ru/blog/fluorescentnaya-mikroskopiya> (дата звернення:14.05.2024).
8. Держинський М.Е., Вороніна О.К., Скрипник Н.В., Гарматіна С.М., Пазюк Л.М. Загальна цитологія. Практикум: навчальний посібник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. 126 с.
9. Принцип роботи флуоресцентного мікроскопа [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://biocommerce.ru/spravochnik-po-tehnologiyam/kak-deystvuetfluorestantsnyy-mikroskop/> (дата звернення: 19.04.2024).

10. Вступ до конфокальної мікроскопії [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/techniques/confocal/confocalintro/> (дата звернення: 30.06.2024).
11. Іванушкіна Н. Г., Іванько К. О., Прокопенко Ю. В. Прикладна біофізика. Біоелектричні процеси. Конспект лекцій для студентів спеціальності 8.05080102 фізична та біомедична електроніка. Н. Г. Іванушкіна, К. О. Іванько, Ю. В. Прокопенко. К., 2016. 115 с.
12. Кабінет діагностики та відновлення зору "Світло" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://svitlomed.032.ua/news/120838> (дата звернення: 30.06.2024).
13. Application of Raman Spectroscopy in Biomedical Diagnostics [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.intechopen.com/chapters/78664> (дата звернення: 30.06.2024).
14. Корягіна Н. В. Експериментальні дослідження з природознавства : Навчально-методичний посібник. Н. В. Корягіна. Полтава : ПОІППО, 2012. 84 с.
15. LearningApps [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learningapps.org/index.php?overview&s&category=0&tool> (дата звернення: 30.08.2024).
16. Натрус Л.В. Лабораторна діагностика. Навчально-наочний посібник для студентів медичних факультетів. Київ, НМУ імені О.О.Богомольця. 2023. 66 с.
17. Іонов І.А., Комісова Т.Є., Слюсарев В.Ф., Шаповалов С.О. Фізіологія крові та внутрішнього середовища: методичні рекомендації І.А. Іонов, Т.Є. Комісова, В.Ф. Слюсарев, С.О. Шаповалов. Х.: ЧП Петров В.В., 2017. 48 с.
18. Пальченко А.О. Сучасні оптичні методи діагностики в медицині Актуальні проблеми математики, фізики і комп'ютерних наук, м. Вінниця, 2024.

19. Пальченко А.О. Дослідження зміни показників крові мікроскопічним методом. Розвиток сучасної науки: актуальні питання теорії та практики, м. Кропивницький, 2024.

20. Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів : Природознавство; Біологія, 5 – 9 кл. К. : ВД «Освіта», 2013. 64 с.

21. Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2011 р. № 1392 [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1392-2011-%D0%BF#Text> (дата звернення: 30.09.2024).

22. Полат Є. С. Що таке проект: Типологія проектів Є. С. Полат Відкритий урок. 2004. С. 37–45.

23. Задорожний К. М., «Дослідницька та проектна діяльність під час вивчення біології». Харків. Видавнича група «Основа», 2008. 143 с.