

УДК 378.147:004

Винник Олександр Федорович

старший викладач

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, Харків, Україна

vinnik7777777@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5130-5056

Бутиріна Євгенія Олександрівна

викладач хімічних дисциплін

Відокремлений структурний підрозділ

«Харківський природоохоронний фаховий коледж Одеського державного екологічного університету»,

Харків, Україна

beaukr@ukr.net

ORCID: 0009-0000-0595-2543

Кратенко Роман Іванович

кандидат біологічних наук, доцент

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, Харків, Україна

romankratenko1@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5325-0543

КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ У НАВЧАЛЬНИХ DIY ПРОЄКТАХ

Анотація. Проаналізовано програмні засоби для обробки візуальних даних у навчальному хімічному експерименті, досвід їх застосування та ряд DIY (Do it Yourself – зроби сам) проєктів розроблених на їх основі. Особлива увага звертається на роль саморобних пристроїв під час вимушеного онлайн навчання обумовленого COVID-19 та повномасштабною війною в Україні. Викладено результати розробки програмного засобу ColorKit (кафедра фізики і хімії ХНПУ імені Г.С.Сковороди); висвітлено базові принципи, описано інтерфейс, основні функції застосунку та області їх використання, принцип дії модулів: «Спектрофотометр», «Колориметр», «Рефрактометр», «Поляриметр». Розглянуто особливості будови розроблених викладачами, здобувачами вищої освіти та учнями членами МАН оптичних комп'ютерних пристроїв для фізико-хімічного аналізу, висвітлено результати їх апробації. Описано конструкцію абсорбційного спектрофотометра на основі відбивної дифракційної ґратки виготовленої із DVD-диску; запропоновано новий спосіб його калібрування з використанням розчину діамантового зеленого. Апробовано діючу модель та встановлено, що точність пристрою достатня для демонстраційних та навчальних хімічних експериментів. Розглянуто принцип дії модуля «Колориметр» програмного засобу ColorKit. Показано, що на відміну від інших програмних засобів, він має влаштовані засоби апроксимації. Завдяки цьому суттєво полегшується обробка візуальних даних; виведення результатів математичної обробки у графічному вигляді, а це відповідно робить експеримент більш наочним. Звертається увага на необхідність правильного налаштування драйверу відеопристрою для коректної роботи віртуального спектрофотометра та колориметра в режимі реального часу. Наведено ряд оптичних схем рефрактометрів розроблених на основі програмного засобу ColorKit: з рідинною та V-призмами; пристрою принцип дії якого ґрунтується на зміні оптичних властивостей лінзи, що контактує з розчином. Показано, що одночасне відображення ходу променів та результатів математичної обробки забезпечує високий рівень наочності. Викладено результати апробації LED DIE рефрактометра з V-призмою. Намічено подальші перспективи розвитку проєкту ColorKit.

Ключові слова: комп'ютерна обробка візуальних даних; DIY; спектрофотометр; рефрактометр; колориметр; поляриметр; ColorKit

Мета: систематизація досвіду використання комп'ютерної обробки візуальних даних у навчальному хімічному експерименті; ознайомлення із DIY (Do it Yourself – зроби сам) проєктами колориметрів, спектрофотометрів, рефрактометрів, поляриметрів;

визначення напрямків застосування програмного засобу ColorKit у навчальних DIY проектах.

Методи дослідження. Аналіз досвіду використання навчальних DIY проектів описаних у публікаціях вітчизняних і зарубіжних науковців, систематизація конструктивних особливостей комп'ютерних та мобільних саморобних колориметрів, спектрофотометрів, рефрактометрів. Експериментальне вивчення похибок вимірювань DIY пристроїв.

Обладнання: рефрактометр Аббе РПЛ-3; спектрофотометр LabAnalyt SP-V1000; бюретки 2 класу; колби мірні 2 класу; аналітичні терези ВЛА-200, ноутбук Acer Extensa 5220; вебкамери: Canyon CNR-WCAM820, Technotech ZB 080; B12 FHD.

Реактиви: гліцерол ГОСТ 6824-96; діамантовий зелений (фармакопейний розчин 1% водно-спиртовий для зовнішнього застосування, етанолу 60%); Fe (ч.д.а.), KCNS (ч.д.а.); стандарт титри ТУ 6-09-2540-87: HNO_3 та H_2SO_4 ; H_2O_2 (мед.) – 35%, дистильована вода; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ч.).

Методика приготування розчину $0,1$ моль/л Fe^{3+} : відважували 2.7924 г заліза, розчиняли у суміші 0.1 г*екв HNO_3 + 0.1 г*екв H_2SO_4 + 300мл H_2O + 1мл 35% H_2O_2 . Нагрівали до кипіння. Охолоджували, переносили в мірну колбу на 500мл. Доводили до мітки.

Актуальність. Методики навчання з використанням проєктної діяльності почали впроваджуватися більше сторіччя тому. Головна перевага цього методу – можливість самостійного набуття знань у процесі вирішення практичних завдань та активація пізнавальної діяльності. Цей підхід у навчанні потребує інтеграції знань з різних сфер, творчого підходу, критичного мислення. Однією з суттєвих причин розвитку в 20-х роках ХХІ ст. DIY пристроїв для фізико-хімічних методів аналізу був вимушений перехід на онлайн навчання пов'язаний із COVID-19, а в Україні також із початком повномасштабної війни.

Комп'ютерна обробка візуальних даних надає можливість одночасно, в режимі реального часу, вести спостереження за зміною кольору, розсіянням світла колоїдними розчинами, виділенням газів, зміною кута заломлення променя світла, тощо, й при цьому одночасно отримувати дані у цифровому вигляді, відображати їх у вигляді графіків, діаграм, таблиць. Така наочність, не тільки стимулює зацікавленість до предмету, а й дозволяє краще зрозуміти фізико-хімічні процеси, більш глибоко засвоїти методи отримання та обробки даних.

Методики навчання що ґрунтуються на розробці DIY приладів для фізико-хімічних методів аналізу інтенсивно розвиваються в США, Індії, країнах Європи, Азії, Африки, тощо [1,2]. В Україні такі підходи навчання розповсюджені не достатньо широко. Виникла необхідність ознайомити учнів, вчителів і викладачів з конструктивними особливостями саморобних оптичних пристроїв та програмним забезпеченням для обробки фото- та відеоданих з науковою метою, досвідом їх застосування в навчальному процесі.

Наукова новизна. Описано будову ряду комп'ютерних оптичних DIY пристроїв: спектрофотометрів; колориметрів, рефрактометрів, поляриметрів. Наведено конструктивні особливості, результати апробації пристроїв для фізико-хімічного аналізу які були розроблені і виготовлені в навчальній лабораторії або домашніх умовах на основі програмного засобу ColorKit.

Літературний огляд. За період 2000-2024 рік опубліковано достатньо велика кількість статей що стосуються домашнього хімічного та фізичного експерименту; DIY проектів, як простих, які потребують лише підручні засоби (папір, олівці, ножиці, тощо), так і більш складних, з використанням комп'ютерів, смартфонів, мікроконтролерів.

DIY Спектрофотометри. Одним з найбільш популярних DIY пристроїв серед людей що цікавляться хімією та фізикою є спектрофотометр. Про що свідчить чисельна

кількість публікацій та фільмів на YouTube; значні індекси цитування у базах Scopus та Web of Science по цій тематиці [1-4]. Індонезійськими дослідниками проведено науковий пошук з використанням мультифункціонального інструменту аналізу бібліометричних мереж VOSviewer, що до застосування найпростіших спектрофотометрів у STEM-освіті [1]. Виявлено тренди наукових публікацій з даної тематики та відображено у вигляді схем, карт локалізації проєктів. Показано, що у STEM-технологіях навчання розробка та виготовлення діючих моделей спектрофотометрів є досить популярною, як у розвинутих країнах (Європі, США, Австралії) так і в країнах, що розвиваються (країни Африка, деякі Азійські країни). Така зацікавленість розробкою власних пристроїв пояснюється тим, що спектрофотометричні методи аналізу мають широке практичне застосування, без їх опанування неможлива повноцінна підготовка хіміка. В той же час, не існує промислових навчальних спектрофотометрів які дозволяли продемонструвати принцип дії та будову їх, а тому для здобувачів цей пристрій, в більшості випадків, залишається «чорною скринькою» [2,3,5]. Розробка спектрофотометрів разом із здобувачами дозволяє набуті необхідні компетенції майбутнім хімікам та фізикам. Для країн, що розвиваються, з обмеженим освітнім бюджетом, це єдиний спосіб ознайомитися із цими складним приладами, оскільки навіть навчальні спектроскопи мають значну вартість [1, 2].

У роботі [3] описано конструкцію дешевого мобільного спектрофотометра. У якості джерела світла використано білий світлодіод, джерело живлення літійовий гальванічний елемент CR2032, дифракційна ґратка – промислова прозора. Описано інтерфейс застосунку для Windows CE Cell Phone Spectrometer. Наведено деякі теоретичні обґрунтування конструкції, креслення та математичні формули які суттєво спрощують розробку власних DIY проєктів.

У [5] наведено конструкцію простого світлодіодного спектрофотометра з прохідною дифракційною ґраткою. Наведено результати випробування при колориметричних вимірюваннях. А також пристрій було випробувано при отриманні абсорбційних спектрів в області 400-700нм Порівняно дані отримані на DIY пристрої з результатами вимірювання на комерційному спектрофотометрі.

Щоб здешевити саморобні спектрофотометри пропонується використовувати дифракційні ґратки виготовлені із CD або DVD-дисків [6-9].

Колумбійськими науковцями було проведено випробування саморобного мобільного спектрофотометра шляхом аналізу спектрів різноманітних ламп (ртутних, гелієвих, неонових) та сонячного світла [10]. Посилання на креслення та технологію виготовлення пристрою наведено у публікації. Дані отримані на саморобному спектрофотометрі порівнювали із отриманими на промисловому навчальному пристрої PASCO та літературними даними. Показано що точність достатня для застосування його в навчальному процесі.

Популярним додатком для обробки спектрів отриманих на саморобних мобільних девайсах є AspectraMini розробника Jandrotek. Це безкоштовний додаток для андроїд розповсюджується через Google Play Market, за посиланням <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.jandrotek.android.aspectra.mini>

З кожним роком усе більше стають доступними 3D принтери, тому частіше з'являються DIY пристрої виготовлені методом 3D друку [8]. Спектрофотометри принцип дії яких ґрунтується на порівнянні двох світлових потоків більш точні, з більш простою процедурою калібрування, дозволяють використовувати нестабільні за яскравістю та з нерівномірним спектром джерела світла. У публікації [11] пропонується технологія виготовлення аксесуару низької вартості методом 3D друку, що перетворює смартфон у двоплечовий мультифункціональний мобільний спектрофотометр.

Для тих хто не звик працювати руками виготовляються, готові девайси до смартфонів:

- DIY Smartphone Spectrometer – біля \$20USD (<https://thunderoptics.fr/product/diy-smartphone-spectrometer>);
- GoSpectro – біля \$500 USD (<https://shop.axiomoptics.com/products/gospectro-handheld-smartphone-spectrometer>).

Популяризації DIY проєктів сприяла італійська компанія Theremino [4]. Ними розроблено у 2010 модульну систему з відкритим кодом Theremino System. За допомогою її апаратних і програмних компонентів вона дозволяє підключати до ПК, ноутбуків, планшетів і смартфонів різноманітні датчики та керувати периферією. Усі додатки безкоштовні, а апаратне забезпечення можна створити власними руками. Сайт розробників (<https://www.theremino.com>) містить багато проєктів, що можуть бути використані в освіті. Програмне забезпечення Theremino Spectrometer можна отримати на сайті розробників у розділі Download>Automation, або за посиланнями: [https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino Spectrometer V3.1 WithSources.zip](https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_V3.1_WithSources.zip) – версія з вихідним кодом версія для програмістів, або без – [https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino Spectrometer V3.1.zip](https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_V3.1.zip). У цьому ж розділі сайту знаходяться інструкції по виготовленню як самого спектрофотометра, так і дифракційної ґратки із CD або DVD диску; документація по налаштуванню і калібруванню [6, 7, 12].

Theremino Spectrometer це застосунок для Windows призначений для обробки спектрів в режимі реального часу. У якості датчика використовується вебкамера. Застосунок має яскравий динамічний інтуїтивний інтерфейс (Рис. 1) локалізований англійською, італійською, французькою, іспанською, португальською, німецькою, іспанською, японською та китайською мовами. ПЗ може бути легко українізований, оскільки розповсюджується із вихідним кодом VB.NET. Програмний засіб більше призначений для вивчення емісійних спектрів та їх порівняння ніж абсорбційних.

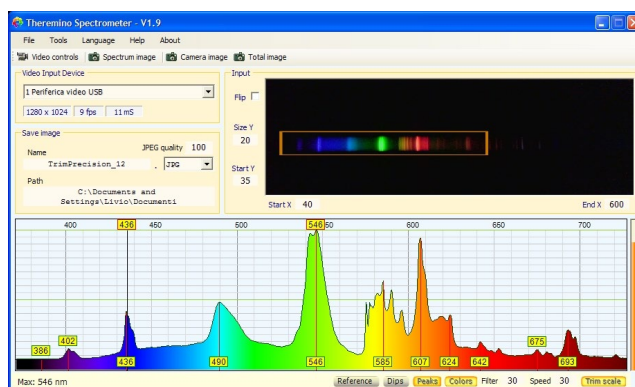


Рис. 1 Інтерфейс програмного засобу Theremino Spectrometer

На сайті Theremino також є посилання на фільми YouTube та публікації, що стосуються розробки та налаштування DIY пристроїв.

Бразильськими дослідниками на основі цього програмного засобу було розроблено спектрофотометр для отримання емісійних, абсорбційних та флуоресцентних спектрів і порівняно результати вимірювання саморобного спектрофотометра з промисловим, показано, що отримані графіки майже ідентичні [13].

Цікава оптична схема спектрофотометра, з точки зору простоти, наочності та універсальності наведена у [14] (Рис. 2). Світло після розкладання на спектр спеціально сконструйованим девайсом G-Fresnel попадає на екран, на якому формується картина

спектру, а потім вебкамера фіксує цей малюнок. G-Fresnel представляє собою комбінований оптичний девайс на основі дифракційної ґратки та призми Френеля.

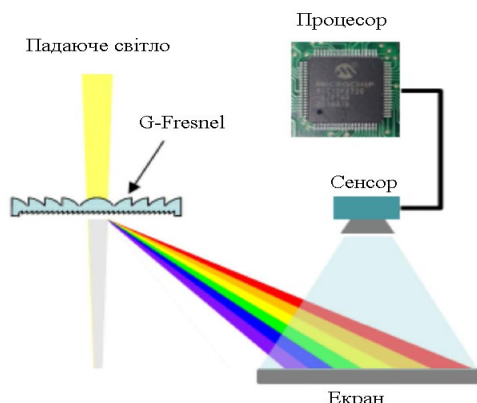


Рис. 2. Спектрофотометр із G-Fresnel дифракційною ґраткою [14]

Більшість саморобних спектрофотометрів на основі відеопристроїв можуть бути використані як колориметри, а деякі і для флуоресцентного аналізу [8, 13, 15].

DIY Колориметри. Спектрофотометри, як було зазначено, можуть бути використані для колориметричних вимірювань [3, 8, 11, 13, 15].

Пропонується для статичного та динамічного аналізу візуальних ефектів у хімічному та фізичному експерименті використовувати застосунок PicMap (WaferMasters, Inc., Dublin, CA, USA) [16], у якості датчика використовується смартфон, цифрова або вебкамера, чи цифровий мікроскоп.

Сучасні мобільні пристрої мають дві і більше камер, що суттєво ускладнює розробку на їх основі саморобних колориметрів і спектрофотометрів. Як датчик, при розробці DIY колориметрів для визначення концентрацій розчинів, може бути також використаний датчик освітленості смартфона. Але такий підхід не забезпечує наочності експерименту в повній мірі. У [17] описано будову мобільного DIY пристрою розробленого на основі датчика освітленості виготовленого методом 3D друку. Це колориметр на основі програмного засобу для Android Shoebox Spectrophotometers. Цей безкоштовний програмний засіб можна встановити за посиланням https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_billhosker.Shoeboxspec.

DIY Поляриметри. Проекти що стосуються саморобних поляриметрів зустрічаються рідше. Як правило, при визначенні кута обертання поляризованого світла використовують візуальні спостереження, або датчики на основі фотодіодів, фото транзисторів, тощо. У [18] наведена конструкція дешевого навчального поляриметра на основі двох поляризаторів; у якості датчика використовується фотодіод; кут обертання поляризованого світла визначають за допомогою транспортира. Конструктивно ще більш простий навчальний пристрій пропонується в [19].

Порівняно недавно було розроблено поляриметри на основі мікрополяризаційних матриць (microgrid polarizer arrays (MPAs)). Ці пристрої здатні визначати кут та ступінь поляризації світла лише за одним знімком, не містять механічних пристроїв та модуляторів. Принцип їх дії ґрунтується на комп'ютерній обробці візуальних даних отриманих із MPAs [20]. Більшість поляриметрів на основі мікрополяризаційних масивів можуть аналізувати лише лінійно поляризоване світла, а деякі і циклічну поляризацію, а відповідно можуть визначати всі чотири параметри Стокса, і навіть одночасно виконувати спектральний аналіз [12]. На жаль, MPAs матриці дорогі і малодоступні. Для ознайомлення із цією новітньою технологією може бути запропонований проєкт

простого зображувального поляриметра з чотирьох плівкових поляризаторів з позиційними кутами 0° , 45° , 90° , 135° [22].

DIY Рефрактометри. Оптичні схеми більшості сучасних цифрових рефрактометрів ґрунтуються на ефекті повного внутрішнього відбивання рис. 3.

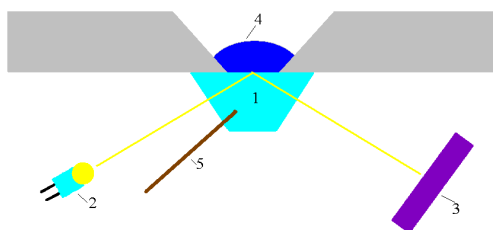


Рис. 3. Оптична схема цифрового рефрактометра: 1 – призма; 2 – світлодіод або лазер; 3 – CMOS або CCD датчик; 4 – зразок; 5 – датчик температури

Деякі пристрої обладнані елементами Пельтьє для підтримання постійної температури призми, інші роблять корегування за цим параметром.

Достатньо конструктивно прості та точні пристрої здобувачами можуть бути побудовані з використанням рідких призм [23]. DIY рефрактометр на основі CMOS матриці дія якого ґрунтується на поверхневому плазмовому резонансі пропонується у [24]. За основу, при розробці такого типу рефрактометрів також може бути взята оптична схема девайсу для смартфона на основі дифракційної ґратки DVD-диску [25]. Датчиком у даній розробці є камера, освітлювач – світлодіод мобільного девайсу. Пристрій із проточною коміркою створений за допомогою 3D-друку наведено у [26].

Хмарні технології та штучний інтелект. З розвитком хмарних технологій обробка візуальних даних з навчальною та науковою метою набула нового сенсу – з'явився доступ до онлайн хімічних лабораторій, величезні масиви експериментальних даних, їх обробка стали доступними широкому колу здобувачів і вчених, що призвело до утворення нових наукових спільнот. Розвиток цих технологій сприяє популяризації природничі наук. На рис. 4 представлена принципова схема таких систем.

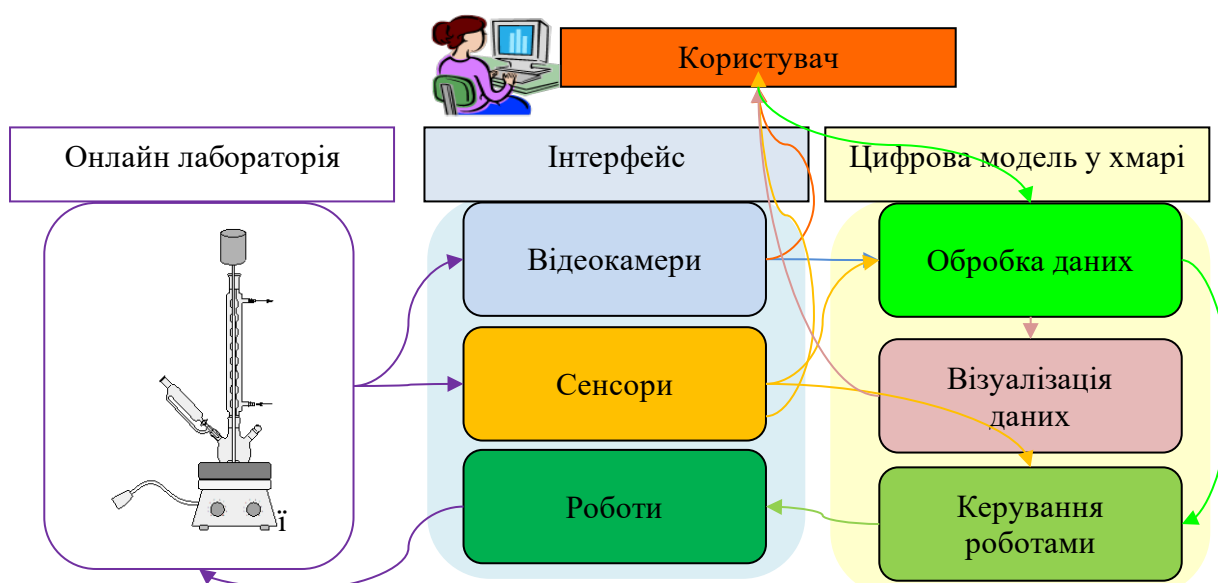


Рис. 4. Принципова схема роботи хмарної лабораторії

Користувач задає задачу для лабораторії, після її аналізу виконується хімічний експеримент, отримані дані збираються та аналізуються у хмарі, а потім результати


експерименту повертаються замовнику у вигляді фото- та відеоматеріалів, таблиць, графіків, тощо [27]. У хмарі також можуть створюватися віртуальні двійники реальних об'єктів, що в подальшому дозволяє виконувати експерименти без використання реагентів та обладнання. До обробки візуальних даних може бути залучений штучний інтелект.

Переважає кількість програмних засобів для обробки візуальних даних з науковою метою досить спеціалізовані, а тому на їх основі неможливе створення власних систем дослідження [16]. В той же час, освітній процес потребує інструментів наукового пошуку які б не обмежували творчу активність здобувачів, були універсальними, забезпечувати значну гнучкість у відборі візуальних даних та їх аналізі, могли обробляти як статичні так і динамічні зображення; отримувати дані у режимі реального часу; наочно відображати як візуальні дані так і результати математичної обробки.

Виклад основного матеріалу. На кафедрі фізики і хімії Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди розробляється застосунок для Windows ColorKit [28], який призначений для обробки фотографій, фільмів або отримання та аналізу візуальних даних в режимі реального часу за допомогою вебкамери. Розроблені функції застосунку орієнтовані на використання у навчально-дослідницькій роботі, переважно, на вивчення фізико-хімічних процесів.

При розробці проєкту було сформульовано наступні вимоги до програмного засобу та периферії:

- універсальність;
- наочність;
- надійність;
- простота;
- обробка статичних візуальних даних у форматах: *.bmp, *.jpeg, *.jpg, *.gif;
- обробка динамічних візуальних даних у форматах: *.avi; *.mpg; *.mpeg;
- отримання та обробка даних із вебкамери у режимі реального часу;
- використання безкоштовного програмного забезпечення при розробці.

ColorKit – універсальний програмний засіб. Користувач сам розробляє власну систему дослідження. Для цього створюється макрос натискання на кнопку  (Рис. 5, вікно «Макрос»). Перед розробкою макросу завантажуються малюнок, фільм чи приєднується вебкамера.

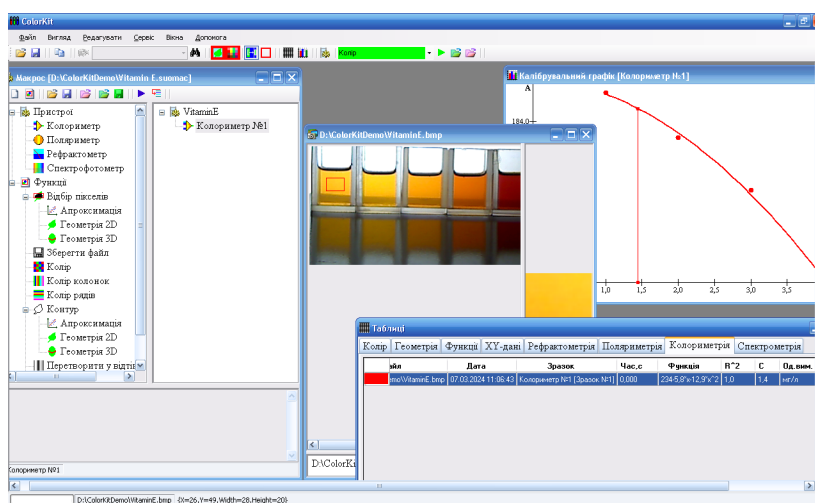


Рис. 5. Інтерфейс програмного засобу ColorKit

Макрос налаштовується через вікно рис. ба.

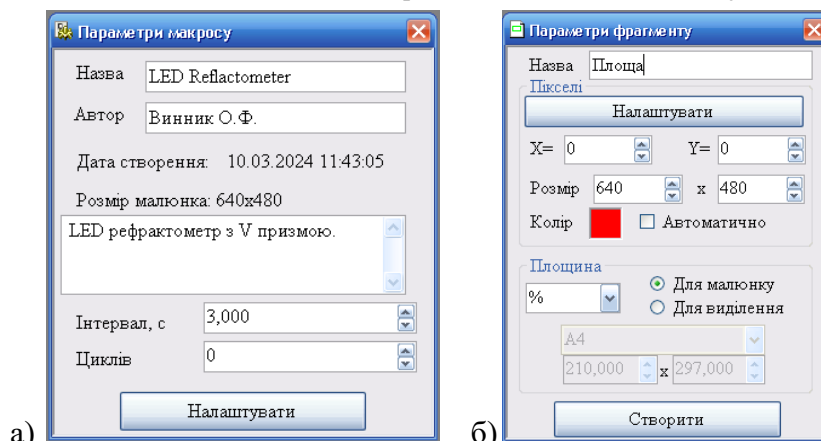


Рис. 6. Вікна налаштування параметрів: а) макросу; б) фрагменту


Більшість параметрів є необов'язковими але, якщо передбачається робота із вебкамерою чи фільмом необхідно виставити час через який буде відбуватися отримання даних. Після цього користувач відбирає необхідні засоби обробки візуальних даних шляхом перетягування компонентів з лівої панелі на праву, та налаштовує їх. Усі засоби поділені на дві групи: *функції* – прості універсальні, використовують один фрагмент екрану (Рис. 5, вікно «Макрос», Табл. 1) та *інструменти* – спеціалізовані, імітують стандартні оптичні пристрої для фізико-хімічного аналізу.

Табл. 1
Функції програмного засобу ColorKit

Функція	Призначення	Деякі області застосування
1	2	3
<i>Колір</i>	Обчислення статистичних параметрів субпікселей фрагменту (середніх, максимальних, мінімальних значень, дисперсій субпікселей R,G,B та параметрів H,S,V).	Розробка власних систем візуального аналізу; визначення швидкості хімічних реакцій, концентрацій розчинів, ідентифікація речовин, розмноження бактерій, тощо.
<i>Колір колонок і Колір рядів</i>	Обчислення статистичних параметрів груп субпікселей R,G,B та параметрів H,S,V що розміщені в колонках і рядках відповідно.	Розробка власних систем візуального аналізу, спектральний аналіз, колориметрія.
<i>Відбір пікселів</i>	Відбір пікселів за параметрами субпікселей RGB, HSB, HSL.	Визначення площі та зміни її з часом; поверхневого натягу методами краплі; швидкості утворення осаду, закономірностей газотворення.
<i>Контур</i>	Обчислення контуру об'єкту – відбирає пікселі розміщені по контуру об'єкта.	Визначення геометричних параметрів; поверхневого натягу методами краплі, рефрактометрія.
<i>Зберегти файл</i>	Збереження малюнків або їх фрагментів на диск.	Динамічний аналіз.

Продовження таблиці 1

1	2	3
<i>Перетворити у відтінки сірого</i>	Перетворює малюнок у відтінки сірого.	Розробка власних систем; визначення концентрацій розчинів, колориметрія та спектрофотометрія.
<i>Поновити малюнок</i>	Поновлює малюнок до оригіналу.	Використання декількох функцій і/або віртуальних пристроїв для аналізу. Динамічний аналіз.
<i>Апроксимація</i>	Обчислення коефіцієнтів апроксимації та R^2 відібраних пікселів для функцій: $y=a+b \cdot x$, $y=a \cdot \ln(x)+b$, $y=a \cdot x^b$, $y=a \cdot e^{(x \cdot b)}$, $y=a+b \cdot x+c \cdot x^2$, $y = \sqrt{r^2 - x^2}$.	Розробка власних систем, колориметрія, рефрактометрія, поляриметрія.
<i>Геометрія 2D</i>	Визначення геометричних розмірів об'єктів: ширини, висоти, площі поверхні.	Визначення ширини, висоти, площі та зміни їх з часом; поверхневого натягу методами краплі, швидкості утворення осаду, закономірностей газотворення.
<i>Геометрія 3D.</i>	Визначення геометричних розмірів об'єктів: ширини, висоти, площі поверхні, об'єму.	Визначення ширини, висоти, площі, об'єму та зміни їх з часом; поверхневого натягу методами краплі, швидкості утворення осаду, закономірностей газотворення.

Пристрої додаються безпосередньо до макросу, а функції до фрагментів. Фрагменти створюються кнопкою  (Рис.5, вікно «Макрос») та налаштовуються за допомогою вікна рис. 6б. Кількість фрагментів та доданих до них функцій не обмежується, але при отриманні даних через вебкамери, в режимі реального часу, необхідно враховувати те, що швидкість виконання одного циклу збільшується,

ColorKit спектрофотометр. Вікно налаштувань спектрофотометра, має достатньо велику кількість опцій (Рис. 7)

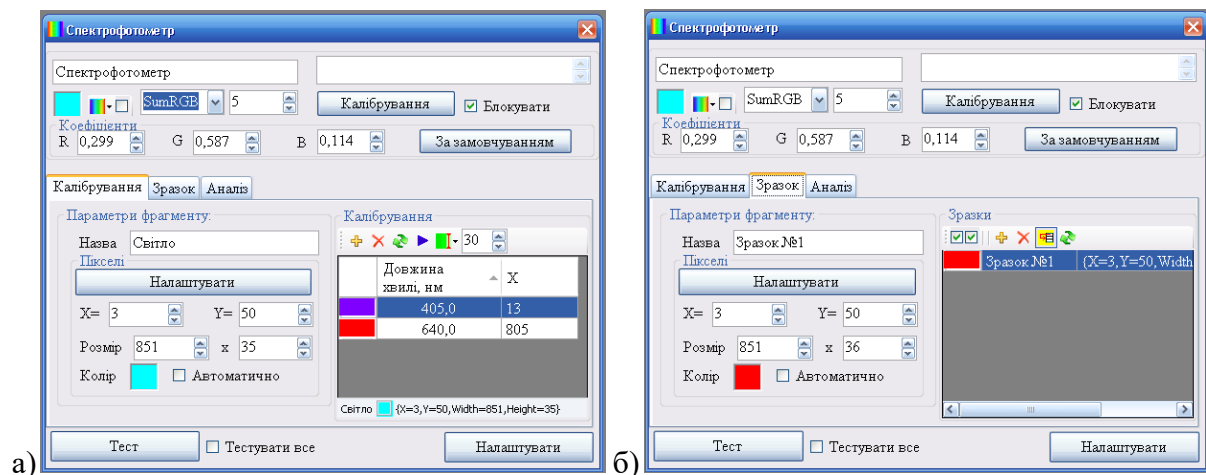


Рис. 7. Інтерфейс налаштування модуля «Спектрофотометр»: а) вікно «Калібрування»; б) вікно «Зразок»

Дозволяє вибрати різні засоби обробки зображення:

BW – перетворює зображення у відтінки сірого за алгоритмом [29] та отримує дані величин субпікселів R;

RGB_R, RGB_G, RGB_B – отримує дані величин субпікселей відповідно R, G чи B;

HSB_H, HSB_S, HSB_V обробляються дані у колірній моделі **HSB** (Hue – колір, Saturation – насиченість, Brightness – яскравість);

SumRGB – величини інтенсивності світлового потоку на пікселях для відповідних довжин світла визначаються аналогічно до математичної бази застосунку *Theremino Spectrometer*: як сума $aR+bG+cB$. Коефіцієнти можуть змінюватися користувачем, за замовчуванням $a=0.299$. $b=0.587$. $c=0.114$. Модуль може бути налаштований на отримання як абсолютних величин так і порівняння спектрів.

На основі модуля «Спектрофотометр» програмного засобу *ColorKit* разом із здобувачами розроблено, виготовлено та апробовано ряд пристроїв аналогічних до [6], а також абсорбційний спектрофотометр на основі відбивної дифракційної ґратки виготовленої із DVD-диску (Рис. 8,9). За основу при розробці цього пристрою взято оптичну схему [14] (Рис. 2).

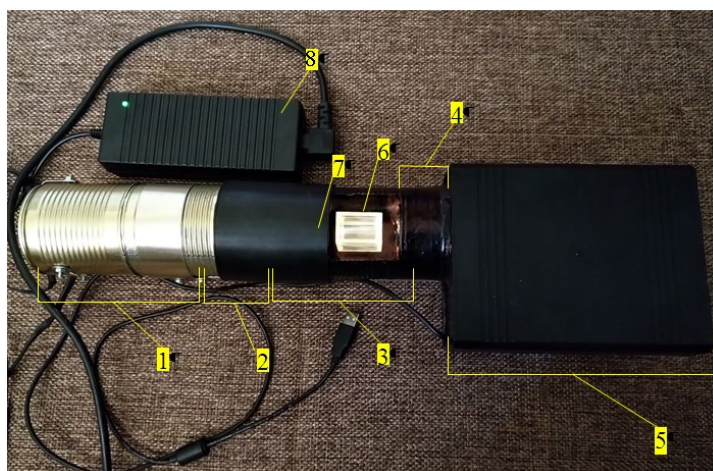


Рис. 8. DIY абсорбційний спектрофотометр: 1 – модуль джерела світла; 2 – модуль конденсора джерела світла; 3 – модуль кювети; 4 – модуль конденсора світла що виходить із кювети; 5 – аналізатора спектра; 6 – кварцова кювета; 7 – кришка модуля кювети; 8 – джерело живлення галогенової лампи.

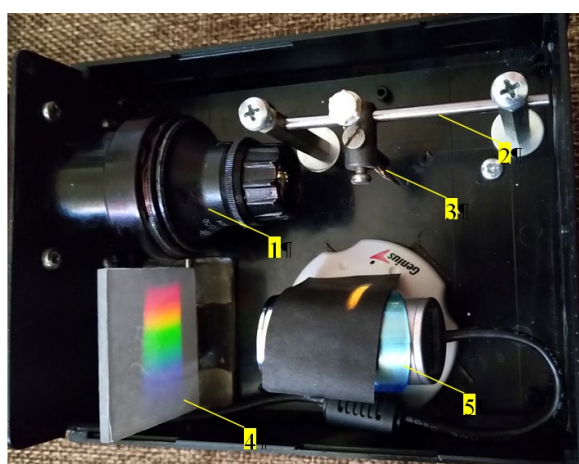


Рис. 9. Модуль аналізатора спектра: 1 – об’єктив И96У-3,5.50; 2 – тримач дифракційної ґратки; 3 – дифракційна ґратка; 4 – білий екран; 5 – вебкамера.

Для коректної роботи пристрою з вебкамерою необхідно правильно налаштувати драйвер – вимкнути усі автоматичні налаштування.

Калібрували спектрофотометр за світлом лазерів із довжиною хвилі 650 ± 10 нм (червоний) та 405 ± 10 нм (фіолетовий), для цього в задній частині модуля освітлювача є отвір $d=1$ мм. Також пристрій може бути калібрований за розчином діамантового зеленого (медичний препарат «Зеленка»), який має чіткі два піки на спектрограмі у видимій області (Рис. 10).

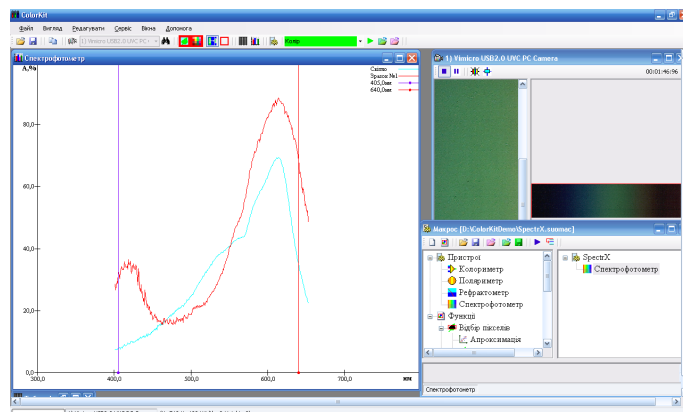


Рис. 10. Інтерфейс програмного засобу ColorKit у режимі «Спектрофотометр».
– спектр галогенової лампи; – абсорбційний спектр діамантового зеленого.

Можна також використати й інші барвники у яких на абсорбційних спектрах як мінімум є два чітко виражених піки в червоній та синій областях. Вибір барвника може бути суттєво спрощений, якщо скористатися онлайн ресурсом Absorption Spectrum Viewer компанії AAT Bioquest за посиланням <https://www.aatbio.com/absorbance-uv-visible-spectrum-graph-viewer/>.

Оцінювали достовірність показів DIY спектрофотометра шляхом порівняння довжин хвиль максимумів абсорбції розчинів діамантового зеленого наведених у онлайн ресурсі Absorption Spectrum Viewer, отриманих на спектрофотометрі LabAnalyt SP-V1000 та саморобному пристрої. Відхилення не перевищувало 16 нм.

ColorKit. Колориметр. Вікно налаштування комп'ютерного колориметра має дві вкладки «Стандарт» та «Зразок». У вікні «Стандарт» налаштовуються параметри необхідні для отримання калібрувального графіку, у вкладці «Зразок» визначаються області зразків на малюнку (Рис. 11).

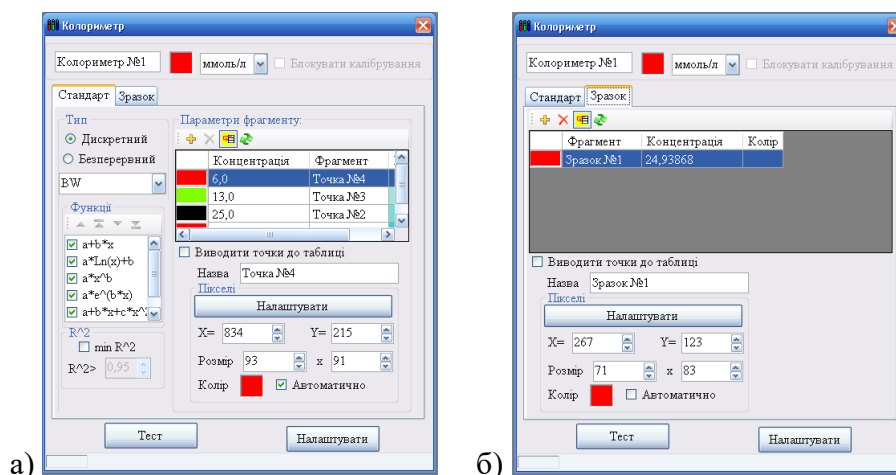


Рис. 11. Вікно налаштування комп'ютерного колориметра: вкладка а) «Стандарт»; б) «Зразок».

Кількість точок калібрувального графіку та зразків необмежена. При обробці візуальних даних, часто точки калібрувального графіку неможливо апроксимувати прямою лінією. Програмний засіб дозволяє вибрати декілька способів математичної обробки (Рис. 11а, 12). Якщо вибрано не одну функцію, то для апроксимації буде застосована та яка має найбільший індекс детермінації – R^2 . Слід враховувати, що функції, що мають мінімуми або максимуми (перегини) непридатні для визначення концентрацій розчинів. Також при виборі функції необхідно враховувати амплітуду параметра – чим більша амплітуда тим більш точні дані.

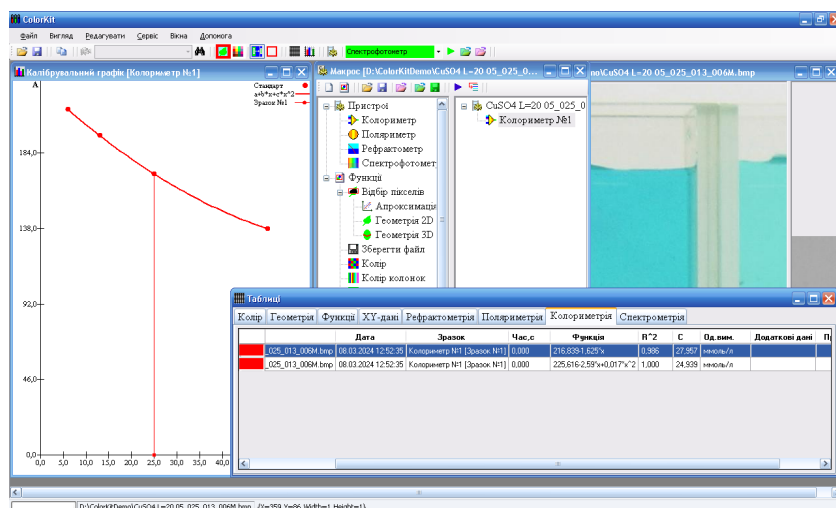


Рис. 12. Інтерфейс програмного засобу «ColorKit». Колориметрія. Визначення концентрації водного розчину CuSO_4 .

Для отримання достовірних даних необхідно щоб кювети з розчинами калібрувального графіку та кювета з розчином невідомої концентрації знаходилися одночасно в одному кадрі, освітлення повинно бути рівномірним. Якщо драйвер вебкамери дозволяє вимкнути усі автоматичні налаштування: витримки, балансу білого кольору, тощо. В такому разі можливе однократне отримання візуальних даних для калібрувального графіку та подальше використання цих даних для хімічного аналізу. Навіть при вимкненні усіх автоматичних налаштувань обов'язково необхідно пересвідчитися чи не відбувається зміна параметрів підсилювача відеопроцесу та керування камерою при вимірюваннях.

У більшості випадків для визначення концентрацій розчинів найбільш придатні способи обробки візуальних даних BW, HSB_V, або один із масивів субпікселей R,G, чи B (Рис. 13, Табл. 2).

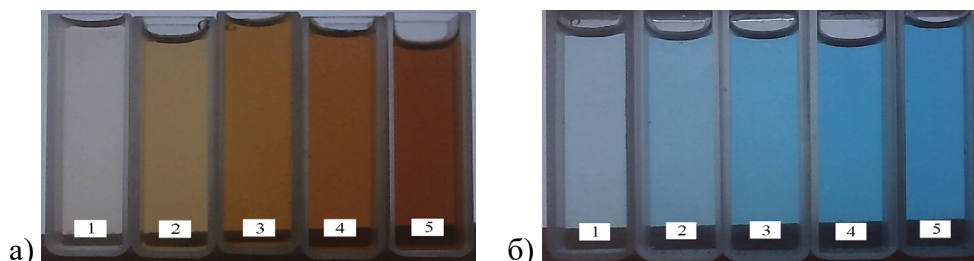


Рис. 13. Візуальні дані отримані за допомогою вебкамери B12 FHD; освітлювач використано із рідкокристалічного дисплею планшету.

- а) розчини $\text{Fe}(\text{CNS})_3$: KCNS -40 г/л, HNO_3 -0.01 моль/л, $\text{C}(\text{Fe}^{3+})$, ммоль/л: 1-0.2, 2-0.2, 3-0.4, 4-0.8, 5-1.0
 б) $\text{C}(\text{CuSO}_4)$, моль/л: 1-0.1; 2-0.2; 3-0.4; 4-0.6; 5-0.8.

Табл. 2.

Функції отримані при апроксимації візуальних даних
концентрація – параметр (R, G, B, H, S, V)

Спосіб обробки візуальних даних	Краща функція апроксимації	R ²	Відсутність перегинів
C(Fe ³⁺), ммоль/л: 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0 + KCNS-40г/л + HNO ₃ -0.01 моль/л			
RGB_R	$y = 143.8037 - 34.901 * x - 18.0921 * x^2$	0.9886	+
RGB_G	$y = 180.1656 * e^{-1.3845 * x}$	0.9987	+
RGB_B	$y = 223.6309 - 469.8818 * x + 277.5487 * x^2$	0.9939	-
BW	$y = 59.9108 * x^{-0.5337}$	0.9926	+
HSB_H	$y = 416.8095 - 1113.8723 * x + 730.8019 * x^2$	0.8685	-
HSB_S	$y = -0.3635 + 2.1137 * x - 1.2275 * x^2$	0.9822	-
HSB_B	$y = 0.2361 * x^{-0.5308}$	0.9927	+
C(CuSO ₄), моль/л: 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8			
RGB_R	$y = 139,6017 - 210,1341 * x + 125,8844 * x^2$	0.9968	+
RGB_G	$y = 141,8584 - 9,61 * x - 26,0167 * x^2$	0.9997	+
RGB_B	$y = 59,6067 + 48,8843 * x - 56,6787 * x^2$	0.9476	-
BW	$y = 149,5649 - 81,671 * x + 35,6731 * x^2$	0.9956	+
HSB_H	$y = 215,9072 - 50,9659 * x + 46,409 * x^2$	0.8872	-
HSB_S	$y = 0,1061 + 0,9141 * x - 0,4989 * x^2$	0.9974	+
HSB_B	$y = 0,5867 - 0,3162 * x + 0,1357 * x^2$	0.9956	+

Комп'ютерний колориметр є надійним засобом для визначення концентрацій розчинів, як у статичному так і динамічному режимі, але з метою підвищення наочності, інструмент потребує доопрацювання: розробки алгоритмів які б дозволяли визначати реальну оптичну густину розчинів.

ColorKit. Рефрактометр. Принцип дії модулю ґрунтується на відборі пікселів з послідовною апроксимацією даних лінійними функціями та визначення показника заломлення з урахуванням оптичної моделі пристрою (Рис.14).

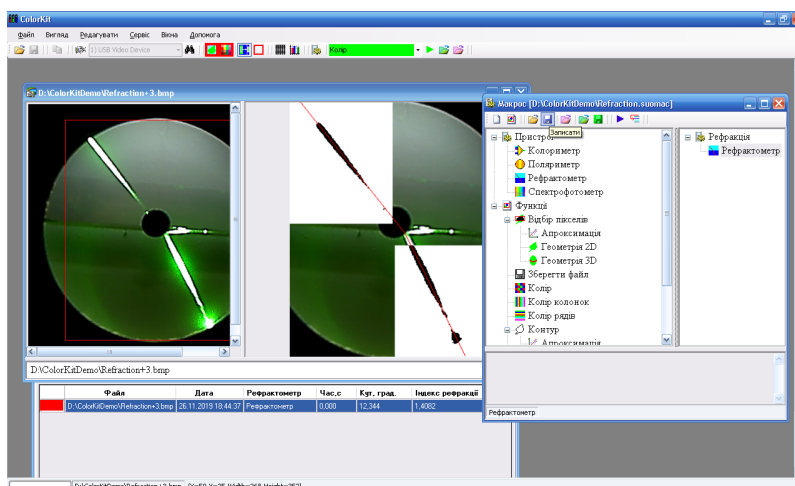


Рис. 14. Інтерфейс програмного засобу «ColorKit». Рефрактометрія.

Вибір оптичної схеми рефрактометра, налаштування системи відбору пікселів, відбувається з використанням вікна рис. 15.

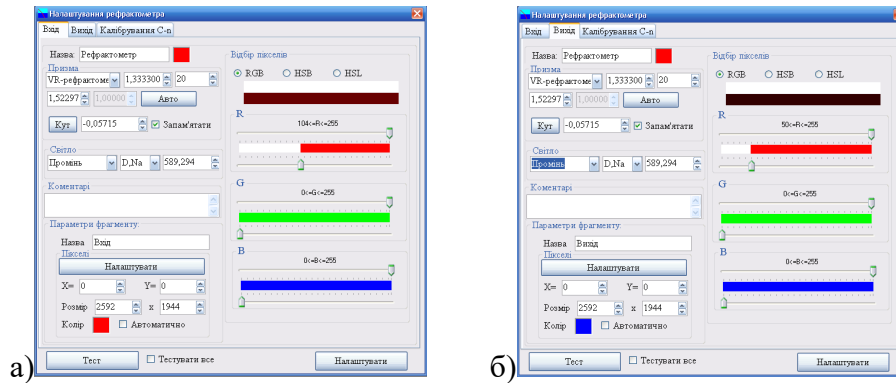


Рис. 15. Вікно налаштування рефрактометра: вкладка налаштування для а) вхідного променя; б) променя після заломлення.

Апробовано ряд лазерних DIY рефрактометрів, оптичні схеми наведені на рис. 16.

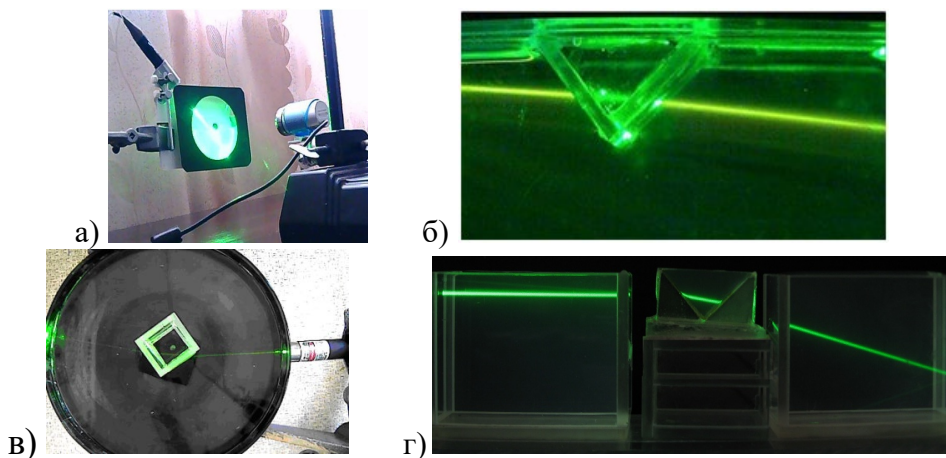


Рис 16. Оптичні схеми лазерних комп'ютерних рефрактометрів: а – найпростіший; б,в – з рідинною призмою; г – з V-призмою.

Більшість експериментальних показників заломлення в літературі наведені для жовтої лінії Натрію ($\lambda=589.2938\text{nm}$). Але жовті лазери досить дорогі та малодоступні, тому використовували зелені лазери ($\lambda=532\pm 10\text{nm}$).

Випробувано також рефрактометри де джерелом світла був світлодіод з довжиною хвилі близькою до $\approx 589\text{ nm}$. Але оптична частина в таких пристроях більш складна (Рис. 17) ніж лазерних.

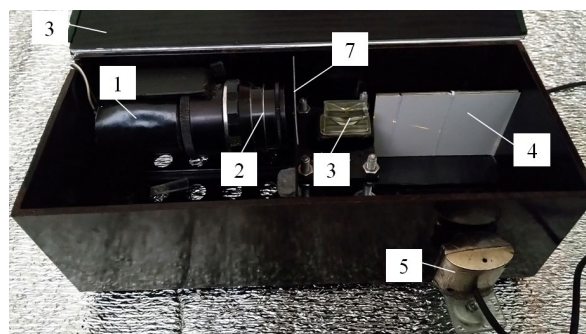


Рис. 17. Комп'ютерний LED DIY рефрактометр з V-призмою: 1 – світлодіодний випромінювач із довжиною хвилі $\approx 589\text{ nm}$; 2 – об'єктив «Індустар 61 Л/Д»; 2 – V-призма; 4 – екран; 5 – вебкамера Technotech ZB080; 6 – кришка рефрактометра; 7 – щілинна діафрагма.

Для визначення достовірності показів LED DIY рефрактометра готували водні розчини гліцеролу різної концентрації. Вимірювали показники заломлення на промисловому рефрактометрі Аббе РПЛ-3. Десять разів вимірювали на саморобному пристрої табл. 3. Усі вимірювання відбувалися при температурі 22°C Абсолютне відхилення отриманих значень показників заломлення отриманих на промисловому та DIY пристрої не перевищувало 0,002.

Табл. 3.

Порівняння результатів вимірювання показників заломлення розчинів гліцеролу виміряних на промисловому та LED DIY рефрактометрах

№ п.п.	n_D , РПЛ-3	$W(C_3H_8O_3)$, %	n_D сер, DIY	Абс. відхилення n_D , DIY від n_D , РПЛ-3	Відн. відхилення n_D , DIY від n_D , РПЛ-3	Дисперсія $\cdot 10^6$	Довірчий інтервал, \pm
1	1.333	0.00	1.3333	0.0003	0.019	0.41	0.000136
2	1.349	14.72	1.3482	-0.0008	-0.057	1.86	0.000291
3	1.363	24.41	1.3623	-0.0007	-0.054	0.37	0.000130
4	1.371	29.95	1.3698	-0.0012	-0.089	0.10	0.000066
5	1.380	36.19	1.3803	0.0003	0.022	0.10	0.000128
6	1.393	45.19	1.3941	0.0011	0.078	0.36	0.000050
7	1.402	51.42	1.4037	0.0017	0.123	0.05	0.000045
8	1.412	58.34	1.4108	-0.0012	-0.086	0.04	0.000055
9	1.419	63.19	1.4175	-0.0015	-0.109	0.07	0.000067
10	1.425	67.34	1.4245	-0.0005	-0.035	0.10	0.000044
11	1.432	72.19	1.4304	-0.0016	-0.115	0.04	0.000099

Розроблено рефрактометр принцип дії якого ґрунтується на зміні оптичних властивостей лінзи при її контакті з розчином (Рис. 18). Принцип дії пристрою ґрунтується на відборі пікселів межі темне / світле поле, апроксимацією даних колом методом найменших квадратів, послідовного визначення радіусу кола та встановлення кореляційних залежностей між радіусом кола та показником заломлення світла.

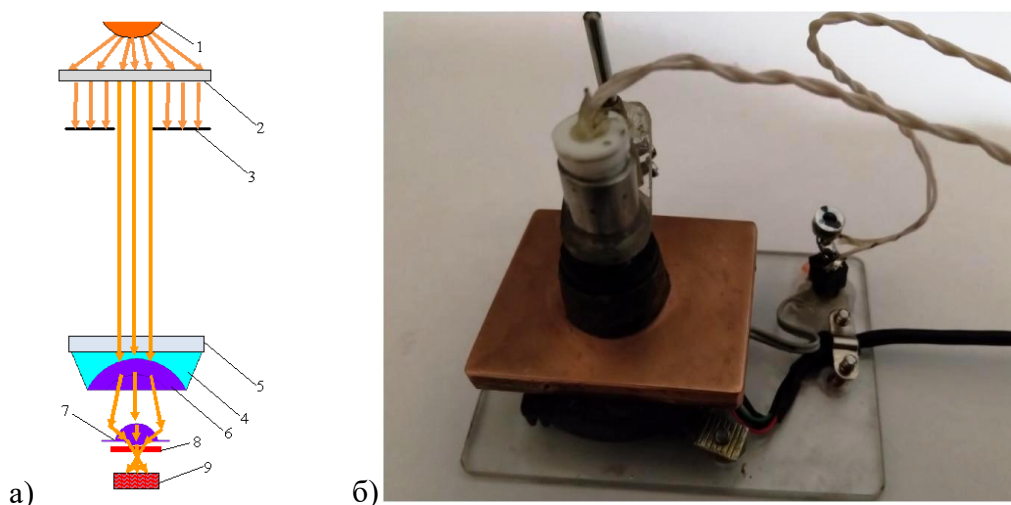


Рис. 18. Будова комп'ютерного рефрактометра: а) оптична схема; б) зовнішній вигляд: 1 – світлодіод; 2 - розсіювач світла (матова біла пластмаса); 3 – діафрагма; 4 – кювета рефрактометра з розчином; 5 – скло; 6 – випукла лінза; 8 – об'єктив камери; 8 – інфрачервоний світлофільтр; 9 – CMOS – матриця.

ColorKit поляриметр. Розроблено поляриметр робота якого ґрунтується на принципово новому методі обробки візуальних даних. Він не містить механічних компонентів, чи модуляторів, а тому надійний та простий у виготовленні. Цей пристрій став незамінним при онлайн проведенні лабораторних робіт на тему «Вивчення впливу температури та рН на швидкість гідролізу сахарози» для здобувачів спеціальності 014 Середня освіта. Хімія. За допомогою нього в умовах COVID-19 та під час повномасштабної війни ми змогли визначати константи швидкості та енергії активації реакції інверсії сахарози, наочно демонструючи як змінюється кут обернення поляризованого світла від правостороннього до лівостороннього (Рис. 19).

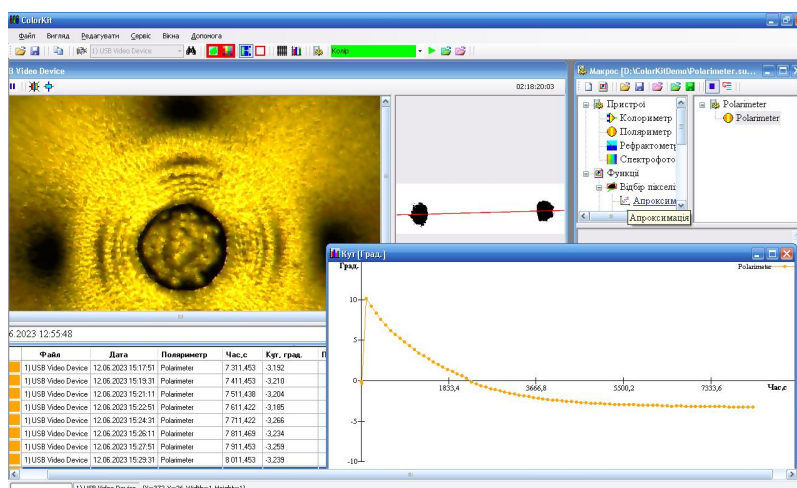


Рис. 19. Застосування програмного засобу ColorKit при вивченні кінетики інверсії сахарози.

Проведено попередню валідацію діючої моделі. Показано, що абсолютна похибка комп'ютерного поляриметра не перевищує $0,5^\circ$. Більш детально конструктивні особливості цього девайсу, особливості обробки візуальних даних програмним забезпеченням та результати валідації викладено у [21].

Висновки.

- ДІУ проєкти є ефективним засобом активізації пізнавальної активності при вивченні природничих дисциплін.
- Серед найбільш популярних саморобних пристроїв для фізико-хімічного аналізу є спектрофотометри та колориметри.
- На основі програмного засобу ColorKit можуть бути розроблені саморобні: колориметри, спектрофотометри, поляриметри, рефрактометри як для статичних так і динамічних вимірювань.
- Застосунок ColorKit може бути використаний при розробці промислових пристроїв для демонстраційного та навчального експерименту.

Перспективи подальшої розробки програмного засобу ColorKit.

- Тестування програмного засобу та виправлення помилок.
- Подальша розробка файлу допомоги та методичних рекомендацій по використанню застосунку.
- Впровадження методик ДІУ проєктів у навчальний процес.
- Розробка та тестування периферії.
- Удосконалення та розробка нових алгоритмів обробки візуальних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shidiqa Ari Syahidul, Permanasarib Anna, Hendayanab Hernanib, Hendayanab Sumar. The use of simple spectrophotometer in STEM education: A Bibliometric Analysis. Moroccan Journal of Chemistry. Vol. 9. 2021. pp. 290-300. URL: <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i2.27581>
2. Forbes P. B. C. Seeing the light: The SpecUP educational spectrophotometer. Optics Education and Outreach. San Diego, California, United States. Vol. 9946. 99460Z. 2016. pp. 1-5. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2235680>
3. Scheeline A., Kelley K. Teaching, Learning, and Using Spectroscopy with Commercial, Off-the-Shelf Technology. Applied Spectroscopy. Vol. 64. №9. 2010. pp. 256-267. URL: <https://doi.org/10.1366/000370210792434378>
4. Theremino. Theremino System. The real modular in out. URL: <https://www.theremino.com/>. [Accessed 1 February 2024].
5. Noethling J. A., Forbes P. B. C. Shedding the light on spectrophotometry: The SpecUP educational spectrophotometer. 12-th Education and Training in Optics and Photonics Conference. Porto, Portugal. Vol. 9289 92892B. 2014. pp. 1-5 URL: <https://doi.org/10.1117/12.2070728>
6. Theremino. Theremino Spectrometer Construction. URL: https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Construction_ENG.pdf. [Accessed February 2 2024].
7. Theremino. Theremino Spectrometer Technology. URL: https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Technology_ENG.pdf [Accessed 5 January 2024].
8. Bruininks B., Juurlink L. B. F. An Inexpensive 3D Printed Periscope-Type Smartphone-Based Spectrophotometer for Emission, Absorption, and Fluorescence Spectrometry. Journal of Chemical Education. Vol. 99. May 2022. pp. 2168-2174. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00060>
9. Koohkan R., Kaykhaii M., Sasani M., Paull B. Fabrication of a Smartphone-Based Spectrophotometer and Its Application in Monitoring Concentrations of Organic Dyes. ACS Omega, Vol. 5, December 2020. pp. 31450-31455. URL: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05123>
10. Castellanos A. R. R., Castellanos H. E., Alvarez-Salazar C. E. Using homemade spectrometers to perform accurate measurements of discrete and continuous spectra arXiv:2201.07110v1 [physics.ed-ph], 2022. pp. 1-15. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.07110>
11. Bogucki R., Greggila M., Mallory P. A 3D-Printable Dual Beam Spectrophotometer with Multiplatform Smartphone Adaptor," Journal of Chemical Education, Vol. 96, 2019. pp. 1527-1531. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00870>
12. Theremino. Theremino Spectrometer. Sample Spectrums. URL: https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Spectrums_ENG.pdf [Accessed 15 January 2024].
13. Wenderson R. F. S., Willian T. S., Reis C. Multifunctional Webcam Spectrophotometer for Performing Analytical Determination and Measurements of Emission, Absorption, and Fluorescence Spectra. Journal of Chemical Education. Vol. 98. 2021. pp. 1442-1447. URL: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01085>
14. Min K.P., Kim J., Song K.D., Kim G.W. A G-Fresnel Optical Device and Image Processing Based Miniature Spectrometer for Mechanoluminescence. Sensors. 19(16). 3528. 12 August 2019. URL: <https://doi.org/10.3390/s19163528>

15. Kolesnichenko P.V., Eriksson A., Lindh L. Viking Spectrophotometer: A Home-Built, Simple, and Cost-Efficient Absorption and Fluorescence Spectrophotometer for Education in Chemistry. *Journal of Chemical Education*. Vol. 100. 2023. pp. 1128-1137. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00679>
16. Yoo Y., Yoo W.S. Turning Image Sensors into Position and Time Sensitive Quantitative Colorimetric Data Sources with the Aid of Novel Image Processing/Analysis Software. *Sensors*. Vol. 20. November 2020. pp.1-15. URL: <https://doi.org/10.3390/s20226418>
17. Vasco R.P., Stephen B.H. Low-cost (<€5), open-source, potential alternative to commercial spectrophotometers. *PLOS Biology*. pp. 1-8. 12 June 2019. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000321>
18. Camara C. A. G. d. Construction of a Low-Cost Polarimeter For Educational Purposes. *Quimica Nova*. Vol. 44. №3. pp. 361-365. 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000321>
19. Mehta A., Greenbowe T. J. A Shoebox Polarimeter: An Inexpensive Analytical Tool for Teachers and Students. *Journal of Chemical Education*. Vol. 88. August 2011. pp. 1194-1197. URL: <https://doi.org/10.1021/ed1011635>
20. Vorobiev D., Ninkov Z., Gartley M. Polarization in a snap: imaging polarimetry with micropolarizer arrays Polarization in a snap: imaging polarimetry with micropolarizer arrays. *Polarization: Measurement, Analysis, And Remote Sensing XI*. Baltimore, Maryland, United States. 2014. <https://doi.org/10.1117/12.2053164>
21. Винник О.Ф., Грановська Т.Я., Кратенко Р.І. Високошвидкісний комп'ютерний поляриметр на основі CMOS матриці. *Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету»*. №15. 2023. С.1-17. URL: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2023.151>
22. Синявський І.І., Іванов Ю.С., Сосонкін М.Г., Міліневський Г.П., Кошман Г.В. Мультиспектральний іміджер-поляриметр космічного проекту «Аерозоль-UA» *Космічна наука і технологія*. Т. 24. № 3. 2018. С. 23-32. <https://doi.org/10.15407/knit2018.03.023>
23. Jiang G., Wan J., Lu Z., Dou W., Wang C., Lu Y. Optical design of a refractometer with the liquid prism. *Tenth International Conference on information Optics and Photonics*. Vol. 10964. 2018. pp. 343-348. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2505408>
24. Yang H., Shin S., Kumar S., Seo D., Oh S., Lee M., Seo S. A CMOS Image Sensor Based Refractometer without Spectrometry. *Sensors*. Vol. 22(3), February 2022. pp. 1209. <https://doi.org/10.3390/s22031209>
25. Barrios C. A. Smartphone-Based Refractive Index Optosensing Platform Using a DVD Grating. *Sensors*. Vol. 22. February 2022. pp. 1-9. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.07110>
26. Robertson M. W., Wright M. S., Friedli A., Summers J. Design and characterization of an ultra-low-cost 3D-printed optical sensor based on Bloch surface wave resonance. *Biosensors and Bioelectronics: X*. Vol. 100049, №5, 2020. pp. 1-6. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2020.100049>
27. Xie C., Li C., Ding X., Jiang R., Sung S. Chemistry on the Cloud: From Wet Labs to Web Labs. *Journal of Chemical Education*. Vol. 98(9), 2021. pp. 2840-2847. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00585>
28. Винник О.Ф., Комісова Т.Є., Кратенко Р.І. Розробка програмно-методичного комплексу SchoolKit. *Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету»*. №11, 2021. С. 32-48. URL: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2021.113>
29. Patrick T., Clark J.C., *Visual Basic 2005 Cookbook: Solutions for VB 2005 Programmers*, J. Osborn, Ed., O'Reilly Media, Inc., 2006. pp. 445-448.

Матеріал надіслано до редакції 15.03.2024 р.

Oleksandr Vynnyk

Senior Lecturer

H.S. Skovoroda's Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv, Ukraine

vinnik7777777@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5130-5056

Yevheniia Butyrina

teacher of chemical disciplines

The separate structural unit

Kharkiv Environmental Protection Professional College of Odessa State Ecological University, Kharkiv,

Ukraine

beaukr@ukr.net

ORCID: 0009-0000-0595-2543

Roman Kratenko

candidate of biological sciences, Associate professor

H.S. Skovoroda's Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv, Ukraine

romankratenko1@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5325-0543

VISUAL DATA COMPUTER PROCESSING IN EDUCATIONAL DIY PROJECTS

Abstract. The software tools for processing visual data in an educational chemical experiment, the experience of their usage, and a number of DIY (Do it yourself) projects developed on their basis were analyzed. Particular attention was paid to the role of self-made devices during the forced online education caused by COVID-19 and the full-scale war in Ukraine. The results of the development of the software tool ColorKit, which is being developed at the Department of Physics and Chemistry of H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University are presented. The basic principles were covered, the interface was described, the main functions of the application and their areas of usage were given. The principle of operation of the modules: "Spectrophotometer", "Colorimeter", "Refractometer", "Polarimeter" was characterized. The features of the structure of optical computer devices for physico-chemical analysis developed by teachers, students of higher education and students, members of the Academy of Medical Sciences were considered, and the results of their testing were highlighted. The design of an absorption spectrophotometer based on a reflective diffraction grating made from a DVD disc was described; a new method of its calibration using a diamond green solution was proposed. The operating model was tested and it was established that the accuracy of the device was sufficient for demonstration and educational chemical experiments. The operating principle of the "Colorimeter" module of the ColorKit software tool was considered. It was shown that, unlike other software tools, it had built-in approximation tools, which significantly facilitated the processing of visual data; displaying the results of mathematical processing in a graphic form, which made the experiment visual. It should be noted that for the correct operation of the virtual spectrophotometer and colorimeter in real time, the correct setting of the video device driver is quite important. A number of optical schemes of refractometers developed on the basis of the ColorKit software tool were presented: with liquid and V-prisms; i.e. the device whose principle of action is based on changing the optical properties of the lens in contact with the solution. It was shown that the simultaneous display of the course of the rays and the results of mathematical processing provides a high level of visibility. The results of the approval of the LED DIE refractometer with a V-prism are outlined. Further prospects for the development of the ColorKit project are planned.

Keywords: computer processing of visual data; DIY; spectrophotometer; refractometer; colorimeter; polarimeter; ColorKit

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Shidiq, A. S., Permanasari, A., Hernani, & Hendayana, S. (2021). The use of simple spectrophotometer in STEM education: A bibliometric analysis. *Moroccan Journal of Chemistry*, 9, 290-300.
<https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i2.27581>

2. Forbes, P. B. (2016). Seeing the light: The SpecUP educational spectrophotometer. In G. G. Gregory (Ed.), *Optics Education and Outreach IV*. 9946, p. 99460Z. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2235680>
3. Scheeline, A., & Kelley, K. (2010). Teaching, Learning, and Using Spectroscopy with Commercial, Off-the-Shelf Technology. *Applied Spectroscopy*, 64(9), 256-267. <https://doi.org/10.1366/000370210792434378>
4. Theremino System. The real modular in out. (Theremino) February 1, 2024. <https://www.theremino.com/>
5. Noethling, J. A., & Forbes, P. B. (2014). Shedding the light on spectrophotometry: The SpecUP educational spectrophotometer. In M. F. Costa, & M. Zghal (Ed.), *12-th Education and Training in Optics and Photonics Conference*, 9289. <https://doi.org/10.1117/12.2070728>
6. Theremino Spectrometer Construction. Theremino System. 2 February, 2024. https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Construction_ENG.pdf;
7. Theremino Spectrometer Technology. January 5, 2024. https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Technology_ENG.pdf
8. Bruininks, B., & Juurlink, L. B. (2022, May). An Inexpensive 3D Printed Periscope-Type Smartphone-Based Spectrophotometer for Emission, Absorption, and Fluorescence Spectrometry. *Journal of Chemical Education*, 99, 2168-2174. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00060>
9. Koohkan, R., Kaykhaii, M., Sasani, M., & Paull, B. (2020, December). Fabrication of a Smartphone-Based Spectrophotometer and Its Application in Monitoring Concentrations of Organic Dyes. *ACS OMEGA*, 5, 31450-31455. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05123>
10. Castellanos, A. R., Castellanos, H. E., & Alvarez-Salazar, C. E. (2022). arXiv:2201.07110v1 [physics.ed-ph]. Using homemade spectrometers to perform accurate measurements of discrete and continuous spectra, 18. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.07110>
11. Bogucki, R., Greggila, M., Mallory, P., Feng, J., Siman, K., Khakipoor, B., Smith, A. W. (2019). A 3D-Printable Dual Beam Spectrophotometer with Multiplatform Smartphone Adaptor. *Journal of Chemical Education*, 96, 1527-1531. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00870>
12. Theremino Spectrometer. Sample Spectrums. January 15, 2024. https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Spectrums_ENG.pdf
13. Wenderson, R. F., Willian, T. S., Reis, C., B. dos Santos, V., Carvalho, E. A., Efraim L. Reis, E. L., & Ernando, C. V. (2021). Multifunctional Webcam Spectrophotometer for Performing Analytical Determination and Measurements of Emission, Absorption, and Fluorescence Spectra. *Journal of Chemical Education*, 98, 1442-1447. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01085>
14. Min, K. P., Kim, J., Song, K. D., & Kim, G. W. (2019). A G-fresnel optical device and image processing based miniature spectrometer for mechanoluminescence sensor applications. *Sensors*, 19(16), 3528 <https://doi.org/10.3390/s19163528>
15. Kolesnichenko, P. V., Eriksson, A., Lindh, L., Zigmantas, D., & Uhlig, J. (2023). Viking Spectrophotometer: A Home-Built, Simple, and Cost-Efficient Absorption and Fluorescence Spectrophotometer for Education in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 100, 1128-1137. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00679>

16. Yoo, Y., & Yoo, W. S. (2020, November). Turning Image Sensors into Position and Time Sensitive Quantitative Colorimetric Data Sources with the Aid of Novel Image Processing/Analysis Software. *Sensors*, 20. <https://doi.org/10.3390/s20226418>
17. Vasco, R. P., & Stephen, B. H. (2019, June 12). Low-cost (<€5), open-source, potential alternative to commercial spectrophotometers. *PLOS Biology*, 1-8. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000321>
18. Camara, C.A. (2021). Construction of a Low-Cost Polarimeter For Educational Purposes. *Quimica Vol. 44, №3, 2021.* – pp. 361-365. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170661>
19. Mehta, A., & Greenbowe, T. J. (2011, August). A Shoebox Polarimeter: An Inexpensive Analytical Tool for Teachers and Students. *Journal of Chemical Education*, 88, 1194-1197. <https://doi.org/10.1021/ed1011635>
20. Vorobiev, D., Ninkov, Z., & Gartley, M. (2014). Polarization in a snap: imaging polarimetry with micropolarizer arrays. In D. B. Chenault, & D. H. Goldstein (Ed.), *Polarization: Measurement, Analysis, and Remote Sensing XI*, 9099. <https://doi.org/10.1117/12.2053164>
21. Vynnyk, O. F., Ghranovsjka, T. Ja., & Kratenko, R. I. (2023). Vysokoshvydkisnyj komp'juternyj poljaryometr na osnovi CMOS matryci. *Elektronne naukove fakhove vydannja «Vidkryte osvittje e-seredovyshe suchasnogho universytetu»*, (15), pp.1-17. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2023.151>
22. Syniavskiy, I. I., Ivanov, Y. S., Sosonkin, M. G., Milinevsky, G. P., & Koshman, G. (2018). Multispectral imager-polarimeter of the " AEROSOL-UA " space project. *Space Science and Technology*, 24(3), 23-32. <https://doi.org/10.15407/knit2018.03.023>
23. Jiang, G., Wan, J., Lu, Z., Dou, W., Wang, C., & Lu, Y. (2018, November). Optical design of a refractometer with the liquid prism. In *Tenth International Conference on Information Optics and Photonics (Vol. 10964, pp. 343-348)*. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2505408>
24. Yang, H., Shin, S., Kumar, S., Seo, D., Oh, S., Lee, M., & Seo, S. (2022). A CMOS image sensor based refractometer without spectrometry. *Sensors*, 22(3), 1209. <https://doi.org/10.3390/s22031209>
25. Barrios, C. A. (2022, February). Smartphone-Based Refractive Index Optosensing Platform Using a DVD Grating. *Sensors*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22030903>
26. Robertson, M. W., Wright, M. S., Friedli, A., & Summers, J. (2020). Design and characterization of an ultra-low-cost 3D-printed optical sensor based on Bloch surface wave resonance. *Biosensors and Bioelectronics: X*, 100049(5), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2020.100049>
27. Xie, C., Li, C., Ding, X., Jiang, R., & Sung, S. (2021). Chemistry on the cloud: From wet labs to web labs. *Journal of chemical education*, 98(9), 2840-2847. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00585>
28. Vynnyk, O. F., Komisova, T. Je., & Kratenko, R. I. (2021). Rozrobka proghramno-metodychnogho kompleksu SchoolKit. *Elektronne naukove fakhove vydannja «Vidkryte osvittje e-seredovyshe suchasnogho universytetu»*. (11), pp. 32–48. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2021.113>
29. Patrick, T., & Clark, J. C. (2006). *Visual Basic 2005 Cookbook: Solutions for VB 2005 Programmers.* (J. Osborn, Ed.) USA: O'Reilly Media, Inc, pp. 445-448.