

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет природничий  
Кафедра хімії та методики її навчання

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Старова Т. В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Реєстраційний № \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ЯК ЗАСІБ ПІДТРИМКИ**  
**НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ХІМІЇ В 11-Х**  
**КЛАСАХ**

Кваліфікаційна робота студентки групи ХІм-17  
ступінь вищої освіти «магістр»  
спеціальності 014.06 «Середня освіта (Хімія)»  
Похлестової Олесі Юріївни

Керівник:

Кандидат педагогічних наук, доцент кафедри  
хімії та методики її навчання

Нечипуренко П. П

Оцінки:

Національна шкала \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_\_ Кількість балів \_\_\_\_\_

Голова ЕК \_\_\_\_\_

Члени ЕК \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ЗАПЕВНЕННЯ

Я, Похлестова Олеся Юріївна, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело. Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ РОЗВИТКУ НАВЧАЛЬНО- ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ХІМІЇ.....	10
1.1. Психолого-педагогічні основи організації навчально- дослідницької діяльності старшокласників .....	10
1.2. Навчальна та навчально-дослідницька діяльності учнів 11-х класів з хімії.....	13
1.3. Технології доповненої реальності у навчанні хімії в школі.....	16
Висновки до розділу 1 .....	25
РОЗДІЛ 2 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНО- ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ХІМІЇ У 11-Х КЛАСАХ.....	27
2.1 Хмарні технології як засіб візуалізації ефектів доповненої реальності .....	27
2.2. Розробка віртуальної хімічної лабораторії у доповненій реальності .....	30
2.3. Практичне застосування додатку доповненої реальності на уроках хімії .....	43
Висновки до розділу 2 .....	48
ВИСНОВКИ .....	50

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	53
Додаток А .....	60
Додаток Б.....	62
Додаток В.....	66
Додаток Г .....	67
Додаток Д.....	83

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

API – Application Programming Interface

AR – Augmented reality (доповнена реальність)

MR – mixed reality (змішана реальність)

VR – virtual reality (віртуальна реальність)

XR – extended reality (розширена реальність)

ВХЛ – віртуальні хімічні лабораторії

ІК – інформаційно-комунікаційний

ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології

## ВСТУП

За останні три роки система освіти України пережила, можливо, найбільші виклики у своїй історії. Спочатку пандемія COVID-19, а потім збройна агресія поставили і продовжують ставити перед освітянами надскладні завдання забезпечувати якість освіти в умовах дистанційного навчання. Особливо складно забезпечити якісний освітній процес із природничих дисциплін, зокрема хімії, методика викладання яких завжди спиралась на активне використання демонстраційних експериментів та учнівських дослідів (лабораторних та практичних робіт). І слід зазначити, що остаточного вирішення цих проблем досі немає, хоча немало зусиль методистів спрямовані на їх розв'язання. Що стосується викладання хімії, то й у мирні та допандемічні часи вчителі хімії часто стикались з певними проблемами у організації експериментальної роботи учнів на уроках, що було пов'язано як із браком часу та необхідних реактивів, так і з певними ризиками щодо безпечного виконання дослідів.

Ще більшого удару зазнає навчально-дослідницька діяльність учнів з хімії: розрахована на наявність та подальший розвиток пізнавальної активності та самостійності учня у здобуванні нових знань, ця навчально-дослідницька діяльність як ніяка інша потребує підтримки у формі здійснення хімічного експерименту – саме експерименту у сенсі джерела суб'єктивно нових знань, а не звичайного закріплення раніше вивченого матеріалу. Учні одинадцятих класів готуються до складання зовнішнього незалежного оцінювання, вступу до закладів вищої освіти, до реалізації власних освітніх потреб на якісно новому рівні, тому вони особливо зацікавлені у отриманні знань, у розвитку власних умінь, що реалізується у тому числі і через здійснення навчально-дослідницької діяльності. Дослідницька діяльність учнів реалізується через можливість висувати гіпотези, планувати та реалізовувати шляхи їх перевірки, робити обґрунтовані висновки. Здійснення такого роду навчальних досліджень завжди було прив'язане до використання

реактивів та обладнання хімічного кабінету, робочого часу вчителя (на уроці чи в позаурочній діяльності), дотримання правил та вимог техніки безпеки тощо. І це завжди суттєво обмежувало можливості учнів щодо проведення такого роду досліджень, а з появою обмежень, які накладаються в процесі дистанційного навчання – і поготів.

Сучасні інформаційно-комунікаційні технології давно розглядаються як засоби, що можуть серйозно змінити умови навчання хімії за рахунок віртуалізації хімічного експерименту. Застосування віртуальних хімічних експериментів надає можливість уникнути значної кількості вищезазначених обмежень. Тим більше, що учні 11-х класів, як правило, вже добре обізнані з комп'ютерними технологіями, можливостями сучасних мобільних пристроїв, і для них не становить проблеми користуватись віртуальними хімічними лабораторіями. Головним недоліком, що обмежував використання віртуальних хімічних лабораторій у навчанні хімії, була неможливість сформувати навички використання реального хімічного обладнання та реактивів. Проте під час дистанційного навчання вплив цього недоліку значно знизився, оскільки проведення реальних хімічних експериментів під час навчання все одно не передбачено.

Тому потреба у розробці якісних віртуальних хімічних лабораторій не зникла і більше того – вимагає застосування все більш сучасних та досконалих засобів. Одним із таких засобів є доповнена реальність – технологія, яка надає можливість користувачеві в процесі роботи *оперувати* віртуальними об'єктами, тобто виявляти активність у противагу пасивному спостереженню відеозаписів експериментів, доступних у мережі Інтернет.

Технології доповненої реальності відносно нещодавно стали загальнодоступними, їх використання у навчальному процесі досі є спорадичним та не завжди методично виваженим. Змінити цю тенденцію може ефективно вдосконалення інформаційно-ресурсного забезпечення освіти, розвиток програмного забезпечення технологій доповненої реальності, моделювання пізнавальних завдань для формування компетентностей учнів з

природничо-математичних предметів, що найбільш ефективно здійснюється через навчально-дослідницьку діяльність учнів, заохочення їх до пізнання навколишнього світу та забезпечення такої можливості, у тому числі за допомогою різних технічних засобів та передових інформаційно-комунікаційних технологій.

Описані вище протиріччя визначили **мету** дослідження – обґрунтувати можливість використання в процесі навчання хімії у 11-му класі технологій доповненої реальності для підтримки навчально-дослідницької діяльності учнів з хімії.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

1. Визначити психолого-педагогічні основи та особливості організації навчально-дослідницької діяльності учнів при вивченні хімії в 11-х класах.

2. Здійснити порівняльний аналіз сучасних технологій доповненої реальності та засобів їх реалізації.

3. Визначити особливості застосування технологій доповненої реальності в освіті, та навчанні хімії зокрема.

4. Проаналізувати методи та засоби розробки програмних засобів з використанням доповненої реальності.

5. Визначити перспективи хмарних технологій для реалізації засобів доповненої реальності.

6. Розробити програмний засіб доповненої реальності у формі віртуальної хімічної лабораторії та оцінити ефективність його застосування для підтримки навчально-дослідницької діяльності одинадцятикласників з хімії.

**Об'єктом** дослідження є технології доповненої реальності у навчанні хімії в закладах загальної середньої освіти.

**Предметом** дослідження є процес використання технологій доповненої реальності як засобу підтримки навчально-дослідницької діяльності учнів у 11 класах.



У процесі реалізації поставлених завдань були використані такі **методи дослідження**: *теоретичні*: аналіз та узагальнення наукових та спеціальних джерел у галузі розробки програмних засобів з використанням доповненої реальності; *емпіричні*: тестування програмного коду та розробленого програмного засобу; опитування з метою оцінювання ефективності розробленого програмного засобу; *практичні*: проектування, розробка та тестування програмного засобу.

**Практична значущість** полягає у розробці програмного засобу, що являє собою віртуальну хімічну лабораторію, яка реалізується засобами доповненої реальності (<https://lefoxi.github.io/ARdip/>), і може бути використана для задоволення потреб учнів у провадженні навчально-дослідницької діяльності при вивченні окремих тем курсу хімії 11-го класу, а в подальшому може бути розширена для здійснення навчально-дослідницької діяльності учнів з хімії у інших класах.

**Структура роботи**: робота складається з двох розділів, висновків до розділів та загальних висновків, п'яти додатків. Список використаної літератури містить 42 джерела.

## РОЗДІЛ 1

# ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ РОЗВИТКУ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ХІМІЇ

### 1.1. Психолого-педагогічні основи організації навчально-дослідницької діяльності старшокласників

Випускник профільної школи є потенційним абітурієнтом закладів вищої освіти відповідного наукового спрямування, тому головними завданнями профільного навчання є формуванні в учнів прагнення та можливостей до самореалізації, розвитку навичок до самостійного та усвідомленого пошуку знань, створенні системи необхідних для подальшого професійного розвитку знань та компетентностей.

Процес навчання, на думку В. І. Бондаря, складається з навчальної та пізнавальної діяльності учнів. Навчальна діяльність пов'язана із засвоєнням знань у готовому вигляді, а пізнавальна – із забезпеченням можливості активного відображення у свідомості учня об'єктивного світу, набуття ним досвіду самостійного оволодіння знаннями й способами їх одержання, самопізнання [28]. Найбільш вдалою освітньою стратегією вважається залучення учнів до активного самостійного пошуку знань, дослідження оточуючого світу, пошуку та отримання відповідей на питання, які виникають у процесі навчання.

Відповідно до концепції Нової української школи, перевага надається педагогіці партнерства з метою ефективного досягнення нових стандартів та результатів навчання. Вчитель повинен бути не єдиним наставником та джерелом знань, а радше коучем, фасилітатором, тьютором та модератором в індивідуальній освітній траєкторії дитини [36].

Отже, сучасний етап розвитку освіти в Україні характеризується зміщенням акцентів у взаємодії «вчитель-учень» з суб'єкт-об'єктної до

суб'єкт-суб'єктної взаємодії, у перевазі пізнавальної діяльності учнів над навчальною. Вчитель радше має спрямовувати і коригувати пізнавальну діяльність учнів, стимулювати їх інтерес до отримання знань та прагнення досліджувати світ.

На перші у ролі у сучасній системі навчання виходить саме активна діяльність учнів зі здобуття знань, що виражається у її практичній спрямованості, навчально-науковому дослідженні, самоосвіті. Практична діяльність учнів є не лише засобом закріплення та удосконалення отриманих знань, але і джерелом їх отримання [29, с. 12].

Серед психологічних теорій взаємозв'язку навчання та розвитку особливої уваги заслуговує діяльнісна парадигма навчання. Згідно цієї парадигми навчання є процесом зміни суб'єкта під впливом предметного змісту, в якому індивід немов би «привласнює» історично сформовані засоби діяльності. На перших етапах відповідні засоби діяльності, що є складним надбанням багатьох поколінь, необхідно екстеріоризувати – спростити та роз'яснити учневі принципи їх функціонування, розкрити зміст та значення діяльності. Після цього учень починає інтеріоризувати (привласнювати) відповідні засоби діяльності у формі розумових дій, понять, образів, уявлень тощо. Таким чином, процес навчання виражається у поступовому переведенні зовнішнього досвіду у внутрішній, особистий досвід індивіда, що відбувається виключно шляхом активної діяльності останнього [22, с. 84].

З наукових робіт П. Я. Гальперіна [30] відомо, що процес навчання починається із взаємодії з матеріальним об'єктом або його моделлю, а завершується формуванням у свідомості розумової дії, що є по суті мисленневою моделлю діяльності. Для отримання знань про навколишній світ дитина повинна активно його досліджувати, активно взаємодіяти з матеріальними або матеріалізованими об'єктами, тобто здійснювати навчально-дослідницьку діяльність. Результати численних психологічних досліджень вказують на те, що більш усвідомленими та міцно засвоєними є ті знання та навички, які учень *здобув*, а не пасивно *отримав*.

Під навчально-дослідницькою діяльністю слід розуміти таку діяльність учнів, що організується вчителем, в якій домінує самостійне застосування учнями прийомів наукових методів пізнання, яка спрямована на пошук пояснень і доведень закономірних зв'язків і відношень фактів, що експериментально спостерігаються або теоретично аналізуються, та в результаті якої учні активно оволодівають новими знаннями, розвивають власні дослідницькі уміння і здібності [27].

Навчально-дослідницька діяльність може здійснюватись учнями із різним ступенем самостійності. Навчально-дослідницьку діяльність учнів може повністю контролювати вчитель, а робота виконується виключно за наданим ним готовим зразком чи алгоритмом (найнижчий її рівень); вчитель може здійснювати формулювання мети і завдань діяльності, але планування конкретних дій з її виконання здійснюють учні під керівництвом вчителя; нарешті вчитель може здійснювати лише загальний контроль та підтримку навчально-дослідницької діяльності учнів, а її планування та виконання здійснюється безпосередньо учнями (найвищий рівень ступеня самостійності учнів у навчально-дослідницькій діяльності) [37].

Саме у необхідності інтеріоризації діяльності під час формування розумових дій, у процесі навчання, розкривається важливість одного з головних принципів навчання – принципу зв'язку теорії з практикою (або взаємозв'язку навчання з життям). Діяльність учнів, організована як навчально-дослідницька, надає можливість застосувати цей принцип у сенсі *взаємозв'язку* теорії та практики, оскільки практична діяльність учнів має не лише демонструвати прикладні аспекти теорії та підтверджувати її головні положення, а й самим учням виявляти певні закономірності, встановлювати логічні зв'язки між результатами дослідження і окремими постулатами наукових теорій.

## **1.2. Навчальна та навчально-дослідницька діяльності учнів 11-х класів з хімії**

Хімія належить до природничих наук, що обумовлює, зокрема, специфіку її вивчення. Ця специфіка полягає у організації пізнання хімічних закономірностей навколишнього середовища через експеримент, через дослідження властивостей речовин та процесів їх перетворення. Таким чином, однією з головних особливостей шкільного курсу хімії є переважання принципу єдності теорії та практики, дослідницького підходу в навчанні та принципу диференціації, що знайшло своє відображення, зокрема, у широкому застосуванні лабораторних дослідів на уроках хімії, учнівського експерименту (у тому числі й домашнього та ужиткового) [35].

Хімічний експеримент займає важливе місце у методиці навчання хімії. Саме хімічний експеримент є однією з головних складових навчально-дослідницької діяльності учнів на уроках хімії та у позаурочний час. У навчальній програмі з хімії для закладів загальної середньої освіти за 10-11 клас чітко визначено зміст ключових компетентностей, якими має оволодіти випускник при вивченні хімії. Серед них можна виокремити вміння обговорювати результати дослідження і робити висновки; використовувати логічне мислення, зокрема, для розв'язування розрахункових і експериментальних задач; проводити досліди з речовинами з урахуванням їхніх фізичних властивостей; використовувати за призначенням сучасні прилади і матеріали; досліджувати природні об'єкти; організовувати самоосвіту з хімії: визначати мету, планувати, добирати необхідні засоби; спостерігати за хімічними перетвореннями в об'єктах та проводити хімічний експеримент [42].

Отже, вивчення хімії навіть на рівні стандарту вимагає формування в учнів відповідних навичок здійснення дослідницької діяльності.

Зміст навчання хімії у 11-х класах полягає у засвоєнні та поглибленні знань учнів з неорганічної та загальної хімії. Вивчення відповідних

тематичних блоків супроводжується виконанням практичних та лабораторних робіт, демонстраційних дослідів тощо [41; 42].

Абсолютно логічним є те, що вивчення хімії на профільному рівні вимагає набагато більшого використання навчально-дослідницької діяльності учнів, ніж на рівні стандарту, що виявляється у значно більшій кількості запланованих експериментальних робіт. Інші види навчально-дослідницької діяльності учнів, зокрема, навчальні проєкти, також у значно більшому обсязі представлені у навчанні на профільному рівні. Проте і вивчення хімії на рівні стандарту все одно спирається на активне залучення різних форм навчально-дослідницької діяльності учнів, зокрема, експериментальної роботи.

Серед асортименту запланованих експериментальних робіт у 11-му класі, як і в усьому шкільному курсі хімії, значно переважає якісний хімічний експеримент, у якому перш за все необхідно дати аналіз явища, яке спостерігалось, без виконання точних вимірювань та розрахунків.

Відповідно до навчальних програм [41; 42], найбільш поширеним та різноманітним видом експериментальної діяльності у при вивченні хімії у 11-х класах є демонстраційний експеримент, тобто найбільш пасивний варіант навчально-дослідницької діяльності учнів. Це пояснюється низкою факторів, які обмежують використання більш активних і самостійних форм навчально-дослідницької діяльності учнів: лабораторних дослідів та практичних робіт. До цих факторів можна віднести брак часу на виконання хімічного експерименту; небезпека, пов'язана із використанням хімічних речовин, обладнання, здійсненням високоекзотермічних хімічних реакцій; брак відповідного обладнання та реактивів у кабінеті хімії тощо. Останнім часом до цих факторів додалась необхідність проведення уроків у дистанційному режимі через епідеміологічні обмеження, пов'язані із пандемією COVID-19.

У окремих випадках навіть здійснення демонстраційних дослідів є проблематичним через ті ж зазначені вище причини. Одним із засобів успішного подолання проблеми забезпечення дослідницької діяльності учнів на уроках хімії є використання віртуальних хімічних лабораторій, які

продемонстрували свою високу ефективність при вивченні окремих тем шкільного курсу хімії. Особливо ефективними виявились ті віртуальні хімічні лабораторії, принцип роботи яких передбачав активне втручання користувача у перебіг процесу, можливість змінювати окремі параметри виконання лабораторного хімічного досліду на власний розсуд [20; 21; 34].

Причому ефективними були як імітаційні (програми для моделювання хімічних об'єктів та процесів), так і дистанційні (засоби надання дистанційного доступу до реальних хімічних об'єктів та обладнання) віртуальні хімічні лабораторії. Використання імітаційних віртуальних хімічних лабораторій виявилось більш доречним для підтримки навчально-дослідницької діяльності учнів, пов'язаної із здійсненням кількісних досліджень, а дистанційних – якісних [21].

Використання віртуальних хімічних лабораторій вже заплановано і у навчальних програмах з хімії для закладів загальної середньої освіти, причому віртуальні хімічні лабораторії розглядаються не лише як засіб підтримки відповідної експериментальної діяльності з хімії, а й як навчальний ресурс для формування інформаційно-цифрової компетентності учнів [41; 42].

Ще одним засобом, який поєднує можливість візуалізації складних процесів та явищ, віртуалізації хімічного експерименту та дистанційного його проведення, тенденцію до цифровізації та гейміфікації процесу навчання є технології доповненої реальності [19; 18].

Таким чином, у сучасного вчителя хімії є досить широкий вибір засобів ІКТ для підтримки навчально-дослідницької діяльності одинадцятикласників з хімії як у аудиторному навчанні, так і у позаурочній діяльності, а також для організації навчально-дослідницької діяльності в умовах дистанційного навчання. І технології доповненої реальності не є виключенням – їх застосування у навчальному процесі останнім часом є все більш поширеним.

### 1.3. Технології доповненої реальності у навчанні хімії в школі

Не дивлячись на статус «сучасних цифрових технологій», віртуальна та доповнена реальність вперше були розроблені у далеких 60-х роках ХХ століття [33].

Розвиток імерсивних технологій (насамперед кінематографічного занурення) бере свій початок із робіт М. Л. Хейліга [10; 11]. Можливість взаємодіяти із об'єктами віртуальної реальності, досліджувати та використовувати їх для здійснення певної діяльності було обґрунтовано у роботах А. Е. Сазерленда [25] та М. Л. Крюгера [12; 13].

Слід розрізняти віртуальну та доповнену реальність. Доповнена реальність (AR, Augmented Reality), на відміну від віртуальної, не створює повністю нове штучне середовище, а поєднує елементи віртуального та реального світу. До реального світу користувача, додаються віртуальні об'єкти, що можуть змінюватись внаслідок його дій. Простіше кажучи, доповнена реальність є процесом поєднання реальних об'єктів та віртуальних об'єктів, створених за допомогою комп'ютерних технологій [31].

Віртуальна реальність (VR, Virtual Reality) є середовищем, у якому комп'ютерні технології моделюють фізичну присутність людини у певному місці. Інакше кажучи, віртуальна реальність є штучно створеним світом, який людина може сприймати органами чуття за допомогою спеціальних технічних пристроїв, і взаємодіяти з ним у реальному часі.

Доповнену реальність вважають штучним або синтетичним різновидом віртуального світу, у якому реальні об'єкти доповнюються даними що були згенеровані комп'ютером такі як звук, відео, графіка тощо [8].

Т. П. Коделл та Д. В. Майзел [7] описали алгоритм, що є основним для розробки сучасних програмних засобів доповненої реальності, сутність якого полягає у створенні та реалізації зв'язку між маркером та моделлю об'єкта у віртуальній реальності. У випадку розпізнавання програмним засобом маркеру на екрані пристрою, що використовується для відтворення доповненої



реальності, буде спостерігатись відповідна модель. Об'єкт віртуального світу фактично прив'язується до маркера спеціальним програмним кодом, причому з маркером можна фізично взаємодіяти: повертати, відривати від поверхні, де він знаходиться, переміщувати його в просторі, а результатом цих дій є відповідні зміни, що відбуваються при цьому з віртуальним об'єктом на екрані комп'ютерного пристрою.

Новий поштовх у розробці і поширенні технологій доповненої реальності прийшовся на 90-х роки ХХ століття, коли стрімкий розвиток технологій мобільного зв'язку, мережі Інтернет тощо, створили умови для перенесення необхідних умов відтворення доповненої реальності із громіздкого обладнання лабораторій до мобільних гаджетів користувачів [33].

Подальший розвиток мобільних технологій та програмних засобів до них, поширення глобальної мережі Інтернет тощо, вивів технології доповненої реальності у один із провідних напрямків розвитку ІКТ. Зараз технології доповненої реальності доступні практично кожному жителю планети.

Загальноживаними засобами доповненої реальності є фільтри у Viber та Instagram, які надають можливість у режимі реального часу застосовувати до зображення (фото) різні ефекти, здатні до зміни зовнішності людини або її оточення. Причому маркером у цьому випадку слугує власне людське обличчя. Pokemon Go – всесвітньо відомий приклад мобільної гри з використанням геокоординатної та докільної доповненої реальності.

Не є виключенням і сфера освіти – доповнена реальність надає можливість частково перенести освітній процес у віртуальне середовище: створити лабораторні, практичні завдання та вправи для великої кількості професій, які потребують практичних навичок з меншими ризиками для здоров'я та життя, а також інколи зменшити витрати на організацію навчання або практики.

Ще одна величезна перевага доповненої реальності – наочність, можливість продемонструвати об'єкти, спостереження яких неможливе,

прямо поруч із користувачем, або навпаки – «перенести та занурити» користувача у середину таких об'єктів або систем.

Х. Мартін-Гутьєррес, Е. Гуїнтерс та Д. Перес-Лопес стверджують, що для організації та підвищення ефективності спільної роботи учнів найкраще використовувати саме доповнену реальність [15]. Даний вид роботи дуже актуальний при виконанні лабораторних робіт із потенційно небезпечним обладнанням та реактивами, що вимагає постійного контролю. Поряд з реальними лабораторними роботами, виконуються роботи у доповненій реальності. Використовуючи маркери та мобільні пристрої, учні візуалізують інструкції, навчальні матеріали, обладнання, необхідне для правильного виконання поставлених перед ними задач.

Упровадженням ІКТ та віртуальної реальності у навчальний процес у ХХІ столітті мало кого можна здивувати. В окремих випадках використання різноманітних ІКТ сприймається як належне, як невід'ємна частина сучасного процесу навчання. Але у технологій доповненої реальності є ще одна суттєва відмінність – простота і безпосередність взаємодії користувача із навчальною моделлю. Зокрема, Д. І. Карпенко зазначає, що зараз відбувається стрімке старіння традиційних віконних інтерфейсів, що з'явилися ще у 60-х роках ХХ ст., керування якими здійснюється за допомогою миші та клавіатури. Сучасність вимагає появи нових інтерфейсів людино-машинної взаємодії. У цих інтерфейсах відсутні звичні для всіх графічні меню, форми або панелі інструментів, вони використовують методи взаємодії, притаманні суто людині, тобто замінюючи традиційні засоби управління на жести, людську мову тощо [32].

Навчальним моделям у AR притаманний більший ступінь інтерактивності – їх, на відміну від «прив'язаних» до екрану монітору віртуальних моделей, можна розташовувати у просторі під різним кутом, у різних поєднаннях, вони реагують на найменший рух користувача тощо.

Навчання хімії завжди потребувало якісних моделей хімічних об'єктів та явищ. З появою доступних технологій доповненої реальності асортимент таких моделей суттєво розширився.

Використання ІКТ при вивченні хімії є не данина моді, а необхідність. Використання AR-технологій у навчанні хімії дозволяє активізувати навчальний процес, скорегувати передачу знань та досвіду, а також провести модернізацію освітніх та навчальних програм.

Хімія – це одна з основних наук природничої ланки, а отже виконання лабораторних робіт є обов'язковою умовою ефективного вивчення цієї дисципліни. Існує класична схема виконання лабораторних робіт – аудиторна. Але мінливий сучасний світ створює безліч нових викликів для вчителя, тому інколи стандартний варіант не може бути реалізованим. У такому випадку на допомогу вчителю може прийти доповнена реальність. Вона надає можливість візуалізувати та полегшити процес сприйняття учнями нової для них інформації в процесі навчання, що важко, а інколи й неможливо виконати іншим способом. Добре дібраний демонстративний матеріал дозволяє краще зрозуміти процеси та явища, будову хімічних сполук, певні механізми їх поєднання. Звичні для нашого ока 2D-зображення, традиційні підручники та посібники не дають повного уявлення про основні ідеї природничих дисциплін: просторова структура молекул, фізичні процеси, механізми перебігу хімічних реакцій тощо. Таким чином, для ефективного вивчення природничих наук на сьогодні активно використовують різноманітні демонстрації, а вони, в свою чергу, часто реалізуються із залученням програмних засобів доповненої реальності.

Доповнена реальність надає можливість візуалізувати об'єкт (атоми, молекули, певні схеми приладів, технологічні процеси тощо). Доповнена реальність дозволяє перетворити 2D-зображення в 3D, а також «оживити його» – зробити інтерактивним. Учні вже бачать готову модель, можуть взаємодіяти з нею, детально оглянути з різних ракурсів та не витрачають час на пошук та схематичну побудову об'єкта.

Для організації навчання з використанням доповненої реальності потрібні:

1. Програмне забезпечення (деяке можна знайти у вільному доступі).
2. Пристрої для використання програмних засобів.

На сьогодні повністю або частково вільний доступ має ряд додатків для створення програмного забезпечення доповненої реальності, серед яких найпопулярніші:

ARToolKit – є досить складним у використанні програмним забезпеченням, що вимагає наявності спеціальних навичок програмування. Ця бібліотека підтримує Unity, Android (Android підтримка збірки для Unity), iOS (збірка iOS підтримка Unity і Apple Xcode 4.2 і вище) [3; 4].

Vuforia SDK – також є досить складним інструментом, що вимагає наявності спеціальних навичок роботи з власне додатком та програмуванням. Це набір програмного забезпечення, що включає платформу доповненої реальності та додаткове програмне забезпечення інструментарій розробника для використання AR на мобільному пристрої. Може використовуватись Android планшетах та смартфонах і окулярах U-score (Windows). Vuforia SDK інтегрований з ігровим рушієм Unity 3D [26].

Augment – має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, а мобільний додаток дозволяє візуалізувати 3D-модель у доповненій реальності з можливістю додавати власні 3D-моделі та налаштувати трекери. Підтримує найбільш популярні формати 3D: obj, stl, collada тощо. Працює на смартфонах і планшетах під управлінням iOS і Android. Є умовно безкоштовним ресурсом [6].

Використовуючи ці та подібні засоби, були створені допоміжні програмні засоби для вивчення хімічних процесів із використанням доповненої реальності. За останній час їх було створено доволі багато; розглянемо основні, найбільш відомі.

Augmented Chemical Reactions – 3D-візуалізація молекул, їх просторової динаміки та взаємодії, можливість утворення молекул з індивідуальних

фрагментів. Додаток Augmented Chemical Reactions використовує один або кілька маркерів або кубиків з схожими маркерами, який можна відстежити за допомогою маркер-трекеру. Маркер-трекер фіксує зображення з веб-камери та обчислює положення та орієнтацію маркерів щодо камери, та відображає модель (див. рис. 1.1) [14].

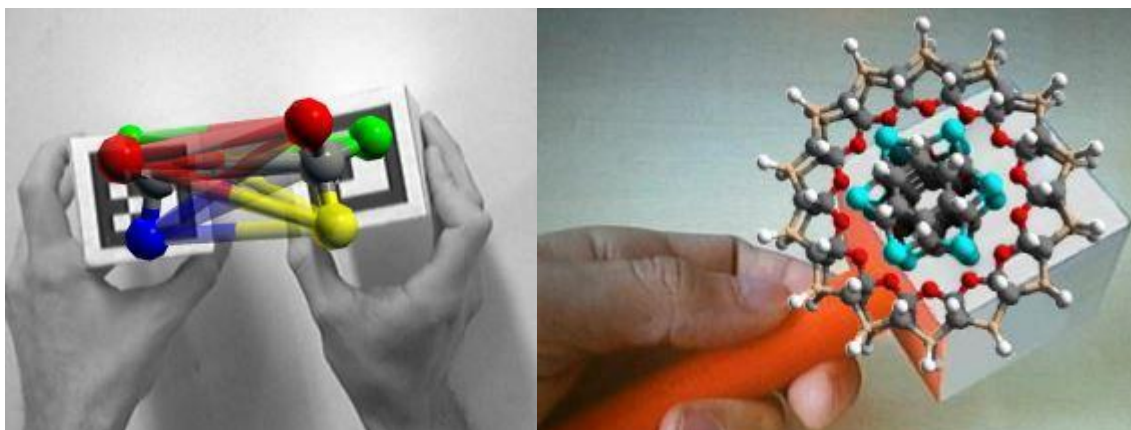


Рис. 1.1. Використання додатка Augmented Chemical Reactions для 3D-візуалізації моделей [14]

Study MarvelChemistry AR – 3D-ілюстрації та моделі в спеціалізованих друкованих навчальних посібниках та публікаціях з хімії. Додаток, розроблений спеціально для класної кімнати з реалістично відтвореними інтерактивними об'єктами в реальному часі для розширеного та практичного навчання в класі. Дана програма була створена на базі Vuforia SDK. Додаток має сумісність із соціальними мережами, що надає можливість фотографувати об'єкт або анімацію та ділитися нею в соціальних мережах (див. рис. 1.2) [24].

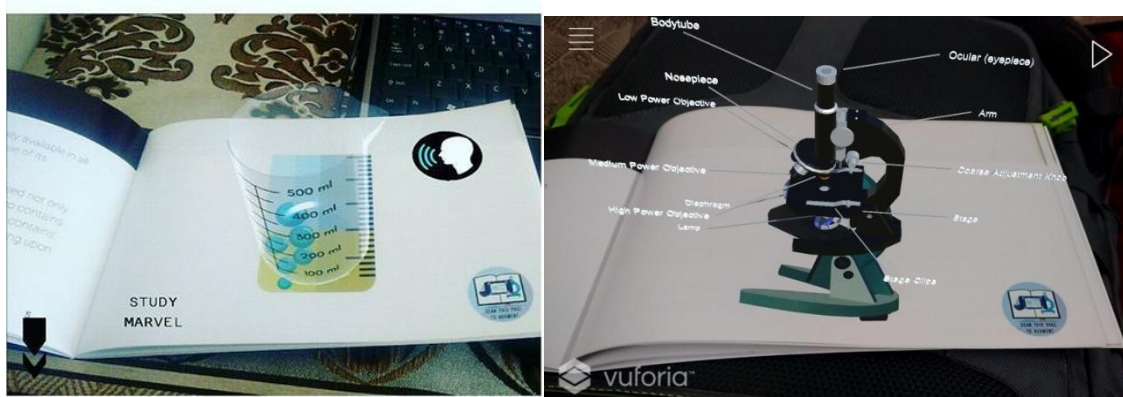


Рис. 1.2. Використання додатка Study MarvelChemistry AR для 3D-ілюстрації в навчальних посібниках та публікаціях з хімії [24]

AR VR Molecules Editor Free – 3D-візуалізація молекул органічних і неорганічних сполук у різних формах (стрижнева, куле-стрижнева моделі тощо). Здійснюється підтримка одинарних, подвійних та потрійних зв'язків, побудова моделей молекул циклічних сполук (див. рис. 1.3) [2].

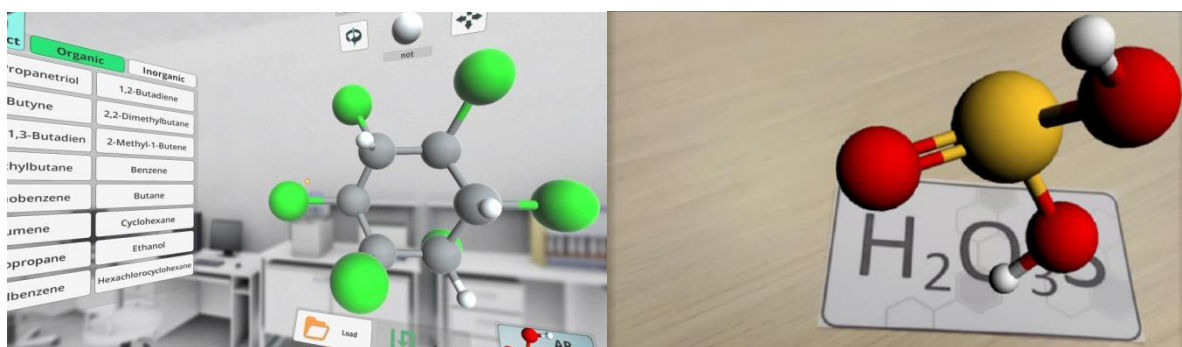


Рис. 1.3. Використання додатка VR Molecules Editor Free для 3D-візуалізації молекул, органічних і неорганічних сполук у різних формах [2]

Atomic Structure AR Learning Gear – динамічна 3D-візуалізація моделей атомів, електронних хмар, дослідження які привели до відкриття електронів, структури атома тощо (див. рис. 1.4) [5].



Рис. 1.4. Використання додатка Atomic Structure AR Learning Gear для динамічної 3D-візуалізації моделей атомів, електронних хмар тощо [5]

Dáskalos Chemistry – візуалізація будови атома всіх хімічних елементів з можливістю перегляду додаткових даних (див. рис. 2.15). Dáskalos працює як

із маркерами відстеження, так і без них. Навчальний зміст і вправи можна виконати в будь-який час, вдома, або на уроках. Маркери повинні знаходитись перед камерою, щоб користувач мав можливість взаємодіяти з атомами та молекулами. Якщо видалити маркер, молекула залишиться, що дозволить створити власний навчальний простір AR перед користувачем. Цей простір може вмістити необхідну кількість атомів, що дозволяє легко вчитися, порівнюючи їх один з одним, і спостерігати за їхніми властивостями, маючи вільні руки, наприклад, щоб робити нотатки. Крім того, існує можливість перетягувати атоми за допомогою сенсорної панелі Moverio [9].

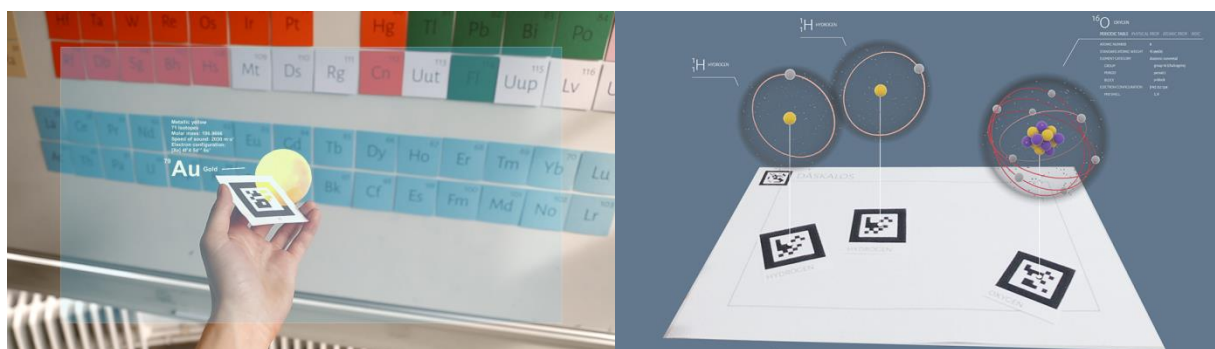


Рис. 1.5. Використання додатка Dáskalos Chemistry для візуалізації будови атома всіх хімічних елементів з можливістю перегляду додаткових даних [9].

QuimicAR – програма, що наочно моделює, як утворюються хімічні зв'язки. Дана програма була створена на базі Vuforia SDK. Має простий інтерфейс, вже створені певні маркери, і завантажується з Google Play (див. рис. 1.6) [23].

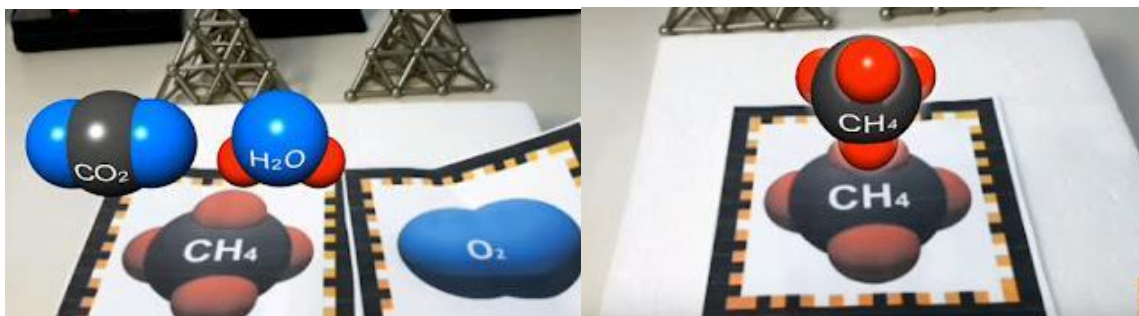


Рис. 1.6. Використання додатка QuimicAR для наочного моделювання, хімічних зв'язків [23].

MEL Chemistry – 3D-моделювання та молекулярна анімація, структура кристалічної решітки, виявлення речовин за спеціальними маркерами. Складні наукові поняття та явища засвоюються набагато краще завдяки інтерактивній моделі навчання. Кожен урок триває від 3 до 7 хвилин, легко вбудовується в хід уроку і допомагає детально візуалізувати тему, що вивчається (див. рис. 1.7) [16].

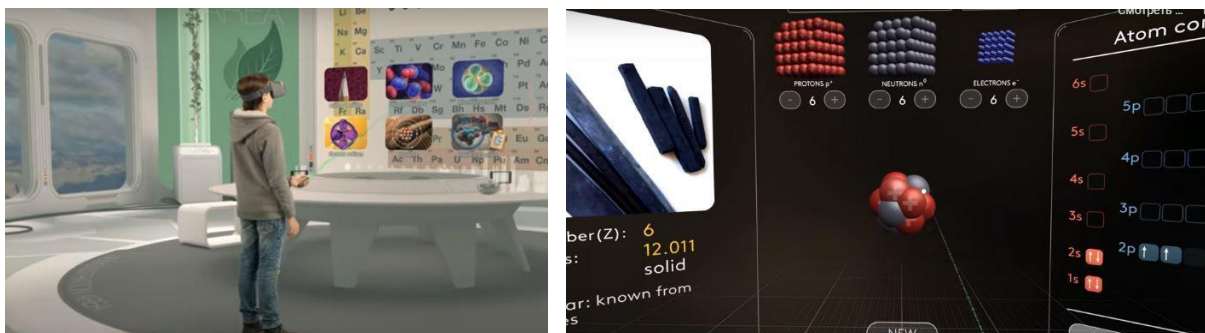


Рис. 17. Використання додатка MEL Chemistry для 3D-моделювання, молекулярної анімації, структури кристалічної решітки тощо [16]

Усі розглянуті програми мають схожий набір функцій для виконання окремих дій, а саме візуалізацію будови атомів та молекул. Безперечно, застосування таких додатків доповненої реальності є ефективним при розгляді багатьох важливих тем шкільного курсу хімії, у тому числі і для самостійного їх опанування. Проте програм, які забезпечували б можливість самостійної дослідницької діяльності учнів стосовно дослідження хімічних властивостей речовин, серед цих програм немає. Тому, на нашу думку, доцільно розробити програмний засіб із потрібним нам функціоналом – можливістю візуалізувати наслідки реакцій між різними речовинами.

Порівнявши можливості багатьох додатків для створення потрібної нам програми з використанням маркерної доповненої реальності, ми зупинились на HP Reveal (Aurasma), але в останній момент, дану програму вивели з роботи засновники. Тому ми вирішили використовувати можливості хмарних сервісів, таких як A-Frame та AR.js. Враховуючи, що деякі програми можуть займати доволі великі об'єми пам'яті, доцільно використовувати хмарні



технології, що надасть можливість до певної міри зекономити обсяг використаної пам'яті пристрою.

### **Висновки до розділу 1**

Навчально-дослідницька діяльність учнів є невід'ємною складовою процесу навчання. Сучасні концепції освіти відводять навчально-дослідницькій діяльності провідну роль у процесі навчання, а роль вчителя переважно полягає у організації та стимулюванні навчально-дослідницької діяльності учнів. Завданням нової української школи є виховання особистості, яка прагне і здатна до активного здобування знань, у тому числі шляхом здійснення навчально-дослідницької діяльності.

Процес формування нових знань суб'єкта (інтеріоризація) згідно діяльнісної парадигми навчання починається із виконання дій з матеріальними або матеріалізованими (моделі, схеми) об'єктами, що поступово шляхом поетапної трансформації призводить до формування розумових дій у свідомості людини.

Навчально-дослідницька діяльність з хімії має низку особливостей, пов'язаних з активним використанням хімічного експерименту як засобу навчання.

Навчальна програма з хімії у 11-х класах закладів загальної середньої освіти насичена різноманітними видами навчально-дослідницької діяльності учнів, переважно експериментальної та проєктної. Значна частина навчально-дослідницької діяльності учнів виконується у формі демонстраційного хімічного експерименту.

Згідно навчальних програм з хімії у 11-х класах відбувається вивчення та поглиблення знань з неорганічної та загальної хімії. Серед хімічних експериментів, запланованих до виконання як у формі демонстрацій, так і у формі практичних та лабораторних робіт, значно переважають експерименти якісного характеру.

Реалізація експериментальної роботи з хімії у 11-х класах, як провідної форми навчально-дослідницької діяльності з хімії, пов'язана із низкою ускладнень, що обумовлені недостатнім матеріальним забезпеченням кабінетів хімії, підвищеним рівнем небезпеки, браком часу на виконання та необхідністю здійснювати експериментальні дослідження у дистанційному форматі через складну епідеміологічну ситуацію в світі, та через небезпеку, пов'язану із збройною агресією Росії проти України.

Для підвищення якості навчання хімії через підтримку навчально-дослідницької діяльності учнів застосовуються різноманітні засоби ІКТ, особливо ефективними серед яких виявились віртуальні хімічні лабораторії. Проте доступних і пристосованих до змісту програми з хімії 11-го класу віртуальних хімічних лабораторій практично немає.

Технології доповненої реальності як галузь ІКТ активно розвивається у світі і може стати важливим засобом підтримки навчально-дослідницької діяльності одинадцятикласників у Новій українській школі.

Використання AR-технологій у навчанні хімії дозволяє активізувати навчальний процес, скорегувати передачу знань та досвіду, а також провести модернізацію освітніх та навчальних програм. На даний час створено певну кількість додатків з доповненої реальності, що можна використовувати на уроках хімії, які надають можливість:

- 3D-візуалізації молекул у різних формах;
- 3D-ілюстрації моделей та приладів в спеціалізованих друкованих навчальних посібниках та публікаціях з хімії;
- візуалізації будови атомів всіх хімічних елементів з можливістю перегляду додаткових даних.

Більшість AR-засобів навчання хімії спрямовані на створення якісної інтерактивної візуалізації складних для сприйняття об'єктів: молекул, атомів тощо. Підтримка проведення хімічного експерименту засобами AR практично відсутня, принаймні відомих додатків у цьому напрямку відомо дуже небагато.

## РОЗДІЛ 2

### ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ХІМІЇ У 11-Х КЛАСАХ

#### 2.1 Хмарні технології як засіб візуалізації ефектів доповненої реальності

На сьогодні найбільш розповсюдженою у використанні AR-ефектів платформою є мобільні Інтернет-просторі – щоб мати змогу використовувати можливості доповненої реальності, переважно треба використовувати смартфон або планшет.

Окуляри доповненої реальності – спеціалізований пристрій для реалізації доповненої реальності, досить коштовний і не такий широко доступний, тому застосовується значно рідше.

Реалізація технології доповненої реальності на мобільних пристроях базується на тому, що пристрій отримує та обробляє інформацію з різних джерел. Після обробки даних мобільний пристрій використовує інформацію про своє просторове розташування та відтворює віртуальні об'єкти на зображенні в екрані відповідно до нього.

Сучасні засоби доповненої можуть розпізнавати певні елементи на зображенні, поверхні, їх взаємне розташування, і вбудовувати віртуальні об'єкти у відповідну реальну обстановку. При цьому найпростішим та найбільш часто вживаним способом прив'язати віртуальний об'єкт до реального є використання спеціальної мітки – маркера. Маркером може бути будь-яке зображення (спеціально створений символ або QR-код), на яке буде накладатись віртуальний об'єкт, причому зміна положення маркеру в просторі (переміщення, поворот) буде викликати відповідну зміну положення і віртуального об'єкту.

Для стабільного та коректного розпізнавання маркеру дуже важливим

є контрастність зображення і відображення меж маркера. Також, важливими є якість камери пристрою та освітлення: один і той самий маркер може з різною ефективністю розпізнаватись різними моделями пристроїв, або при штучному і природному, чи яскравому і тьмяному освітленні.

Для роботи з маркерною доповненою реальністю найчастіше використовується спеціальне програмне забезпечення – мобільний додаток, який потребує завантаження на відповідний пристрій. Альтернативним шляхом є можливість відтворення об'єктів доповненої реальності безпосередньо у вікні браузера, у якому відкрито сайт із певним програмним кодом. Для використання такої можливості необхідним є тільки доступ до мережі Інтернет, жодних додаткових програм на пристрій завантажувати не треба. Подібна можливість з'явилась не так давно, і її функціонал поки що дещо обмежений у порівнянні із функціоналом мобільних додатків, проте впровадження хмарних технологій доповненої реальності продовжується і приваблює розробників можливістю простого створення відповідних AR-продуктів без необхідності складного програмування, як при створенні додатку AR, а також можливістю позбутись залежності від вимог конкретної операційної системи, під управлінням якої працює пристрій.

У хмарних середовищах можна зберігати велику кількість програм та даних, і вони будуть готові до передачі за запитом клієнта, використовуючи інтернет-технології. Також, з'являється можливість вносити зміни та удосконалення до програмного забезпечення в хмарі, що позбавляє необхідності випускати та встановлювати оновлення для користувачів.

Досить доречними хмарними засобами розробки доповненої реальності на даний час є A-Frame та AR.js – ці API, специфічні засоби швидкого прототипування, і більша частина коду з їх використанням – це HTML-подібний код, який користується JavaScript на сервері. A-Frame використовується для створення сцен, об'єктів, анімації та інших 3D-елементів у веб-браузері. AR.js відслідковує маркер і відображає створену в A-Frame сцену на самому маркері [38].

A-Frame був розроблений в команді Mozilla VR у другій половині 2015 року [17]. Команда Mozilla VR стала однією з перших у розробці платформи WebXR та специфікацій для неї, але потрібен був більш простий спосіб для створення контенту. A-Frame був створений для того, щоб дозволити веб-розробникам та дизайнерам створювати 3D- і VR-контент з HTML без необхідності знати WebGL [1]. Переваги у роботі з A-Frame:

- 3D і VR контент створюється з використанням HTML;
- сумісність з більшістю веб-бібліотек та фреймворків, що нині існують;
- архітектура “система-компонент-сутність” полегшує роботу з успадкуванням складних 3D-об’єктів з компонентами, які можна використовувати багато разів;
- розширювана екосистема плагінів компонентів об’єктів;
- візуальний інспектор, який може бути викликаний в браузері з будь-якої сцени A-Frame;
- підтримка розробників, які беруть участь у бібліотеці, надається через GitHub, тоді як підтримка розробників, які створюють додатки та веб-сторінки, надається через StackOverflow;
- підтримка в реальному часі здійснюється через Slack [40].

A-Frame подібний до HTML – усі команди описуються тегамі, які подібні до тегів HTML, але, на відміну від HTML, A-Frame інтерпретуються не у веб-браузері на боці клієнта, а є способом доступу до JavaScript, що виконується на боці сервера.

AR.js – це полегшена бібліотека для AR, створена Jerome Etienne і підтримувана Nicolò Carignoli. Вона побудована на основі бібліотеки Three.js і JSARtoolKit і об’єднана з A-Frame (бібліотекою для розробки VR у веб) для AR. Тут використовуються маркери, щоб камера могла виявляти і відображати AR об’єкт. У цьому методі створення доповненої реальності суттєво те, що він повністю базовий на веб, запускається навіть на доволі старих телефонах, має безкоштовний відкритий вихідний код.

Щоб почати роботу над програмним продуктом, нам необхідні AR-сумісний браузер (Firefox або Chrome) та текстовий редактор (типу Sublime).

Для продуктивною роботи потрібні базові знання HTML, CSS та JavaScript; досвід роботи з веб-API та GitHub полегшить та пришвидшить роботу [38]. Ідея доповненої реальності полягає в тому, щоб відтворити створену модель у реальному часі та просторі для взаємодії користувача у реальному просторі та штучної моделі у віртуальному [39].

## **2.2. Розробка віртуальної хімічної лабораторії у доповненій реальності**

При вивченні хімії у школі існує безліч факторів, за яких учень не може виконати ту чи іншу роботу: відсутність на уроці, нестача деяких реактивів тощо. Але як бути з тими учнями, яких не задовольняють стандартні лабораторні дослідження?

Дуже часто навчально-дослідницька діяльність учнів обмежується самими умовами навчання:

- нестача реактивів та обладнання;
- необхідність виконання, у першу чергу, дослідів, що заплановані навчальною програмою;
- брак часу для виконання позапрограмних дослідів;
- питання техніки безпеки тощо.

Будь-яка з цих умов (або декілька чи всі разом) суттєво обмежують самостійний творчий пошук учнів відповідей на ті питання, які у них виникають під час вивчення тієї чи іншої теми. Кому у школі не хотілось злити все і одразу, чому можна провести реакцію тільки між цими речовинами, а інші між собою поєднувати не можна?

Саме для підтримки самостійної, творчої, пошукової роботи учнів щодо отримання відповідей на ті питання, які у них виникають – ми і пропонуємо свій набір «юного хіміка». Ключова ідея розробки полягає у тому, що при

використанні віртуальної хімічної лабораторії з підтримкою доповненої реальності учень отримує можливість:

- побачити та описати результат виконання дослідів, які з певних причин не міг виконати власноруч;
- здійснювати досліди в межах запропонованого набору реактивів, але за власним бажанням, за створеним у своїй фантазії «сценарієм»;
- повторювати досліди безліч разів у зручний для себе час;
- здійснювати досліди безпечно і без витрат на реактиви та обладнання;
- здійснювати активну діяльність – операції з речовинами власноруч, хоча і у матеріалізованому вигляді (у віртуальному середовищі);
- пробувати різні варіанти поєднання реактивів і за отриманим ефектом *самостійно* висувати припущення, виявляти закономірності, формулювати висновки.

Для вчителя така ВХЛ відкриває можливості залучити учнів до самостійної навчально-дослідницької діяльності, розширити спектр доступних хімічних експериментів, організувати позаурочну та самостійну роботу із обдарованими учнями тощо.

Лабораторна робота являє собою набір маркерів, до кожного з яких прив'язана певна речовина, і при наведенні на окремі маркери ми можемо побачити її зображення. А от щоб виконати дослід, ми повинні взяти два маркери покласти їх один біля одного впритул – тоді на екрані можна спостерігати відеозапис процесу виконання дослідів. Для виконання ми пропонуємо, перелік обов'язкових експериментів, що може виконати учень, але ми не обмежуємо його фантазію: «хочеш погратися та злити не ті розчини, що сказав вчитель – будь-ласка, експериментуй!».

Однією з гострих методичних проблем при вивченні хімії у 11-х класах, є формування поняття про йонний характер взаємодій у якісних хімічних реакціях: навіть учні, які добре вміють складати повні та скорочені йонні рівняння, можуть не пов'язувати форму скороченого рівняння із сутністю проведення якісної реакції на певний йон. Наприклад, у підручнику написано,

що для виявлення йодид-іонів треба використати реактив «розчин аргентум нітрату». Рівняння реакції  $KI + AgNO_3 = AgI\downarrow + KNO_3$  зводиться до скороченого йонного рівняння  $I^- + Ag^+ = AgI\downarrow$  (випадає осад жовтуватого кольору). Все просто і зрозуміло, але зворотний перехід від скороченого йонного рівняння до повного (молекулярного) часто викликає сумніви при спробі задіяти «нестандартні» з точки зору вихідного молекулярного рівняння речовини. Замінити KI на NaI в учнів іще вистачає сміливості (хоча стосовно  $NH_4I$  або  $CaI_2$  вони вже не будуть такими впевненими), а от замінити аргентум нітрат на іншу розчинну у воді сполуку, що містить катіони Аргентуму (ацетат, сульфат тощо) вдається тільки учням, що дуже впевнені у своїх знаннях і дійсно глибоко розуміють сутність цієї теми.

Донести сутність виконання таких якісних реакцій до широкого загалу учнів досить просто – треба виконати реакцію  $I^- + Ag^+ = AgI\downarrow$  з різними комбінаціями реактивів ( $NH_4I + AgNO_3$ ;  $NaI + AgNO_3$ ;  $NH_4I + Ag_2SO_4$  тощо) – однаковий аналітичний ефект доведе правдивість твердження, що для проведення якісної реакції важливими є тільки ті йони, що входять до скороченого йонного рівняння. Ще краще дати можливість дітям *самотужки діяти* до цього висновку на підставі кількох виконаних варіантів якісної реакції і спостереження відповідного аналітичного ефекту. У будь-якому випадку, часу та реактивів на реалізацію такого підходу немає. Окрім того, виконання подібних лабораторних дослідів обмежується ще й коштовністю та недоступністю окремих реактивів, нестачею посуду та дистанційним форматом навчання, що в останні роки становить половину або більше тривалості навчального року.

Саме тому першу свою роботу ми вирішили присвятити вирішенню поставленої вище проблеми і сформуванню комплексу реактивів для виконання навчальних досліджень учнів за темою «Якісні реакції хлорид-, бромід- та йодид-іонів» (ця ВХЛ може стати у нагоді для виконання лабораторної роботи «Якісні реакції на бромід-, йодид-іони» та підготовки до практичної роботи



«Розв’язування експериментальних задач за темою «Сполуки галогенів» у 11-х класах з профільним вивченням хімії).

Перед початком роботи ми визначились, що для лабораторного дослідження нам знадобиться 10 реактивів. Кожен з них ми сфотографували, і порахували, якщо ми маємо 10 реактивів, то доцільно припустити, що учень захоче спробувати злити їх всі попарно, відповідно в нас вийде 45 реакцій та стільки ж відзнятих відео. Далі створюємо користувацькі маркери; їх, як і реактивів, теж 10.

Для підготовки маркерів необхідно обрати засіб компіляції зображень та виділення їх опорних точок, що відповідає застосовуваному рушію доповненої реальності. Так, при виборі в якості рушія AR.js таким компілятором буде “AR.js Marker Training” (<https://ar-js-org.github.io/AR.js/three.js/examples/marker-training/examples/generator.html>), що генерує кольорові квадратні маркери роздільною здатністю 16×16 у форматі .patt: 3 кольорові площини (червона, зелена та синя) і 4 орієнтаціях (кути повороту 0°, 90°, 180° та 270°).

Згенеровані маркери (див. Додаток А) пронумеровані від 0 до 9 та співставлені з назвами і зображення реактивів (див. Додаток Б).

Попарне застосування 10 маркерів без урахування порядку комбінування дає такі 45 комбінацій:

0-1, 0-2, 0-3, 0-4, 0-5, 0-6, 0-7, 0-8, 0-9

1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9

2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9

3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9

4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9

5-6, 5-7, 5-8, 5-9

6-7, 6-8, 6-9

7-8, 7-9

8-9

Для випадків, коли реакція при зливанні реактивів не відбувається (а таких випадків більшість – 29), були записані 7 відеофайлів, які використовувались для відображення цих випадків. Така дія була пов'язана з необхідністю розвантажити обсяг даних відеофайлів, оскільки кожен файл має розмір мінімум 2 МБ і завантаження усіх можливих 45 відео ускладнить роботу програми, особливо при поганій якості інтернет-сигналу, а також може додатково витратити ресурси споживача мобільного інтернету.

Створені файли маркерів, зображень та відео були завантажені у репозитарій GitHub за посиланням <https://github.com/Lefoxi/ARdip> до каталогів markers, images та video відповідно. Додатково для зручності використання зображення маркерів були зібрані у файлі markers.pdf (<https://github.com/Lefoxi/ARdip/blob/main/markers.pdf>).

Початкова сторінка – файл index.html (див. додаток В), тіло якого містить два гіперпосилання:

- ar.html – власне код віртуальної лабораторії (див. Додаток Г);
- markers.pdf – файл PDF із зображеннями маркерів для друку.

Для реалізації лабораторії було обрано бібліотеку A-Frame для створення віртуальних об'єктів та бібліотеку AR.js для їх зв'язування зі створеними маркерами.

Загальна структура файлу ar.html:

```
<html>
  <head>
    <!-- налаштування заголовку вікна -->
    <title>
      Віртуальна хімічна лабораторія у доповненій реальності
    </title>
    <!-- підключення бібліотеки A-Frame -->
    <script
      src="https://aframe.io/releases/1.3.0/aframe.min.js"></script>
    <!-- підключення бібліотеки AR.js для роботи з A-Frame -->
```

```

    <script src=
    "https://raw.githubusercontent.com/AR-js-
org/AR.js/master/aframe/build/aframe-ar.
    ></script>
    <script>
    <!-- основна програма -->
    </script>
</head>
<body>
    <!--Створення сцени A-Frame для роботи у доповненій реальності-
->
    <a-scene vr-mode-ui="enabled: false;"
    renderer="logarithmicDepthBuffer: true;" embedded
    arjs="trackingMethod: best; sourceType: webcam; debugUIEnabled:
false;"
    >
    <!-- Наповнення сцени A-Frame -->
    </a-scene>
</body>
</html>

```

Сцену A-Frame складають 4 блоки:

- 1) `<a-assets>...<a-assets>` – визначення відеотекстур;
- 2) `<a-marker>...</a-marker>` – визначення маркерів та прив'язка до них зображень і відео;
- 3) `<a-entity camera></a-entity>` – розміщення на сцені камери;
- 4) `<a-entity run></a-entity>` – звернення до компоненту `run`, визначеного у основній програмі.

Блок визначення відеотекстур складають записи виду:

```
<video id="video02" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/16.mp4"></video>
```

- `id` – ідентифікатор відео, що складається з імені `video` та номерів маркерів, що суміщуються. Якщо одне й те саме відео застосовується для декількох комбінацій маркерів, ідентифікатор набуває вигляду `video03-04`. Для випадків, коли реакція не відбувається, передбачені відеотекстури `video00-1 ... video00-7`;

- встановлення `preload` у `auto` визначає необхідність завантаження відео до першого звернення до нього – це збільшує початковий час завантаження програми, проте зменшує час, необхідний для появи відео і забезпечує від зупинок відео через нестабільне мережеве з'єднання;

- `muted` – вказує на необхідність вимкнення звуку, якщо звукова доріжка наявна у відео;

- `poster` містить посилання на файл зображення, що з'являється, якщо звернення до відео відбулося до того, як воно повністю завантажилось;

- `src` – посилання на відеофайл.

Блок визначення маркерів складають 9 записів виду:

```
<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-0.patt" id="M0"
registerevents>
```

```
<!-- Визначення зображення -->
```

```
<!-- Визначення відео -->
```

```
</a-marker>
```

Кожен маркер визначається номером від 0 до 9 (згідно табл. 1 додатку В), який входить до складу імені маркера (`pattern-0.patt` – файл опорних точок маркеру 0) та його ідентифікатора `id` (`M0` – ідентифікатора маркеру 0). До кожного маркера застосовується компонент `registerevents`, визначений у основній програмі.

Визначення зображення, що накладається на маркер після його виявлення, виконується командою виду:

```
<a-plane src="images/AgNO3.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw0"></a-plane>
```

a-plane визначає текстуровану площину. Параметр src містить посилання на файл текстури – зображення реактиву згідно табл. 1 додатку В. Через те, що зображення збережено у альбомному розташуванні, а демонструється у портретному, виконується його поворот на кут  $90^\circ$  навколо вісі OY. Поворот на  $270^\circ$  ( $-90^\circ$ ) навколо вісі OX необхідний через те, що координатний простір A-Frame повернутий на відповідний кут відносно координатного простору камери. id – ідентифікатор площини із зображенням, що складається зі слова draw та номера маркера.

До кожного маркеру прив'язується від 9 (маркер 0) до 0 (маркер 9) площин із відео згідно визначеної вище схеми комбінацій маркерів:

```
<a-entity
  material="shader: flat; src: #video00-1"
  geometry="primitive: plane; width: 0.90; height: 1.60;"
  position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5" rotation="-90 0 0"
  id="drawX01" visible="false">
</a-entity>
```

Співвідношення сторін площини задається її шириною width та висотою height (вказуються відносно розміру маркера, що приймається за 1).

Властивість src матеріалу площини містить посилання на раніше визначену та завантажену відеотекстуру. Параметр position визначає координати центру площини (0 0 0 – співпадіння з координатами центру маркера), scale – півторократне масштабування (1.5 1.5 1.5) відеотекстури порівняно із визначеними шириною та висотою, rotation визначає поворот відповідний кут (аналогічно до повороту зображення). Ідентифікатор об'єкту id складається зі слова drawX та номерів маркерів, що зближуються, впорядкованих за зростанням.

Основна програма складається з 3 блоків:

1) визначення змінних:

- `howmuch` – емпірично дібране значення граничної відстані між маркерами, менше за яку вважатимемо, що має розпочатись реакція (за замовчуванням 1.4);
- `isReaction` – прапорець, що вказує на те, що реакція розпочалась: якщо він встановлений, демонструється відповідний відеозапис реакції (початкове значення `false`);
- `distance` – поточна відстань між парою маркерів, що зближуються (початкове значення `howmuch+1`);
- `markerVisible` – масив станів видимості маркерів: якщо маркер видимий, значення елемента масиву з відповідним маркеру номером встановлюється у `true` (початкове значення для кожного маркера `false`);
- `M` – масив для збереження маркерів (визначених у документі HTML об'єктів `a-marker`);
- `d` – масив для збереження зображень, що накладаються на маркери (визначених у документі HTML об'єктів `a-plane`, ідентифіковані як `drawN`, де `N` – номер маркера);
- `X` – масив для збереження відео, що накладаються на маркери (визначених у документі HTML об'єктів `a-plane`, ідентифіковані як `drawXAB`, де `A`, `B` – номери маркерів, що зближуються);
- `p` – масив координат центрів маркерів, значення якого використовуються для вимірювання відстаней;
- `isVideoPlay` – прапорець, що вказує на те, що відтворюється відеозапис реакції (початкове значення `false`);

2) реєстрація компонента `registerevents`;

3) реєстрація компонента `run`.

Компонент `registerevents` призначений для відстеження двох подій – виявлення (`markerFound`) та втрати (`markerLost`) маркера. Після реєстрації метод `init` компонента застосовується до всіх маркерів, до яких був доданий компонент `registerevents`, з метою визначення номеру маркера `index` та встановлення при виявленні чи знятті при втраті прапорця його видимості у

масиві `markerVisible`. При виявленні маркеру пов'язане із ним зображення `d[index]` робиться видимим, а при втраті – невидимим встановлення у відповідне значення властивості `visible`:

```
AFRAME.registerComponent("registerevents", {
  init: function () {
    let marker = this.el;
    marker.addEventListener('markerFound', function() {
      index = parseInt(marker.id[1])
      markerVisible[ index ] = true;
      d[index] = document.querySelector("#draw"+index);
      if(d[index]!=null)
        d[index].setAttribute("visible", "true");
    });
    marker.addEventListener('markerLost', function() {
      index = parseInt(marker.id[1])
      markerVisible[ index ] = false;
      if(d[index]!=null)
        d[index].setAttribute("visible", "false");
    });
  }
});
```

Компонент `run` не відповідає жодному видимому елементу – він виконує загальне управління сценою, для чого реєструється як одноразово виконуваний метод `init`, так й виконуваний за таймером (бажано для кожного кадру) метод `tick`:

```
AFRAME.registerComponent("run", {
  init: function() {
    // ініціалізація компоненту
  },
  tick: function (time, deltaTime) {
```

```

    // метод, що викликається за таймером
  }
});

```

У методі `init` заповнюються визначені раніше масиви: `M` – посиланнями на маркери, `d` – посиланнями на зображення реактивів (відображаються для маркерів, що є видимими), `X` – посиланнями на прив'язане до маркерів відео, та `p` – нульовими координатними векторами:

```

for (let i = 0; i < 10 ; i++) {
  M[i] = document.querySelector("#M"+i);
  d[i] = document.querySelector("#draw"+i);
  p[i] = new THREE.Vector3();
  if (markerVisible [i])
    d[i].setAttribute("visible", "true");
  for (let j = 0; j < 10 ; j++)
    if(i!=j)
      X[i][j] = document.querySelector("#drawX"+i+""+j);
}

```

Метод `tick` постійно відслідковує видимість та взаємне розташування маркерів:

1) до масиву `visible` заносимо номери маркерів, що у поточний момент видимі – для цього аналізуємо зміст масиву `markerVisible`, встановлюваний компонентом `registerevents`:

```

let visible = [] ;
for (let i=0;i<10;i++)
  if (markerVisible[i])
    visible.push(i);

```

2) будемо вважати, що для реакції необхідні рівно 2 реактиви, тому випадки, коли видимими є менше двох маркерів (або більше двох), ігноруватимемо – якщо демонструвалось відео, робимо його невидимим та встановлюємо прапорець `isVideoPlay` у `false`:



```

if(visible.length!=2) {
  for (let i = 0; i < 10 ; i++)
    for (let j = 0; j < 10 ; j++)
      if(i!=j && X[i][j]!=null)
        X[i][j].setAttribute("visible", "false");
        isVideoPlay = false;
  return;
}

```

3) визначаємо номери двох видимих маркерів – marker1 та marker2:

```
marker1 = visible[0];
```

```
marker2 = visible[1];
```

4) визначаємо координати маркерів та зберігаємо їх у відповідних елементах координатного масиву p:

```
M[marker1].object3D.getWorldPosition(p[marker1]);
```

```
M[marker2].object3D.getWorldPosition(p[marker2]);
```

5) знаходимо відстань між маркерами:

```
distance = p[marker1].distanceTo( p[marker2] );
```

6) у прапорці isReaction встановлюємо, чи достатньо близькі маркери для перебігу реакції:

```
isReaction=(distance <= howmuch);
```

7) прапорець isReaction не вказує, чи йшла реакція до поточного моменту – визначити це можна, проаналізувавши, чи вже програвалось відео: якщо ні, знімаємо з обох маркерів зображення, робимо видимим відповідне відео та розпочинаємо його програвати із самого початку:

```

if(isReaction) {
  if(!isVideoPlay) {
    if(d[marker1]!=null)
      d[marker1].setAttribute("visible", "false");
    if(d[marker2]!=null)
      d[marker2].setAttribute("visible", "false");

```

```

X[marker1][marker2].setAttribute("visible", "true");
var id="#" + X[marker1][marker2]
    .getAttribute("material").src.getAttribute("id");
var video=document.querySelector(id);
video.currentTime=0;
video.play();
isVideoPlay = true;
}
}

```

8) якщо маркери віддалились на відстань, що відповідає припиненню реакції, призупиняємо відео, робимо його невидимим та знову накладаємо зображення реактивів на обидва маркери:

```

else {
    if(d[marker1]!==null)
        d[marker1].setAttribute("visible", "true");
    if(d[marker2]!==null)
        d[marker2].setAttribute("visible", "true");
    X[marker1][marker2].setAttribute("visible", "false");
    var id="#" + X[marker1][marker2]
        .getAttribute("material").src.getAttribute("id");
    var video=document.querySelector(id);
    video.currentTime=0;
    video.pause();
    isVideoPlay = false;
}

```

Ураховуючи, що вихідні тексти програмного забезпечення було розміщені у репозитарії GitHub, його розгортання було виконано на сторінках GitHub (GitHub Pages). Для цього у налаштуваннях репозитарію (Settings – Pages) була обрана головна гілка репозитарію (main) та його кореневий каталог, що містить початкову сторінку (файл index.html), та виконано

збереження (Save). Після цього виконується процедура розгортання програмного забезпечення (публікація сайту) за посиланням <https://lefoxi.github.io/ARdip/>. Наявність на опублікованому сайті файлу index.html надає можливість автоматично перейти до початкової сторінки після переходу за вказаним вище посиланням.

Для оновлення розгорнутого програмного забезпечення достатньо виконати завантажити змінені файли до репозитарію.

Розроблена ВХЛ із залученням засобів доповненої реальності (див. Додаток Д) має низку недоліків, серед яких найважливішими є неможливість (принаймні поки що, за існуючих варіантів програмного забезпечення) проведення реакцій між трьома чи більшою кількістю реактивів; неможливість спостерігати за перебігом реакції з різних ракурсів та змінювати порядок додавання реактивів тощо; неможливість отримувати інформацію від усіх органів чуття – тільки візуальна інформація, що передається у відео; будь-який набір реактивів для виконання віртуальних дослідів є обмеженим, а поєднувати реактиви із різних наборів неможливо.

Для створення та використання інших подібних до цієї лабораторних робіт, необхідно повторити всі описані вище етапи, розробити новий набір маркерів та розмістити готову роботу на окремій сторінці сайту.

### **2.3. Практичне застосування додатку доповненої реальності на уроках хімії**

Створена AR-віртуальна хімічна лабораторія «Якісні реакції хлорид-, бромід- та йодид-йонів» була використана як під час проведення уроків хімії у 11-х класах КЗШ №21 І-ІІІ ст.. у ІІ семестрі 2020-21 н.р., та у І семестрі 2021-22 н.р.. Оскільки вивчення хімії у цьому класі здійснюється на рівні стандарту, то на уроках було використано не весь потенціал розробленої програми. Окремі досліді були використані при вивченні теми «Неорганічні речовини та їх властивості» та теми «Хімічні реакції». Більшість експериментів із

застосуванням розробленої AR-віртуальної хімічної лабораторії «Якісні реакції хлорид-, бромід- та йодид-йонів» були проведені у позаурочний час – учням надавались інструкції по роботі з програмою, описувалось теоретичне підґрунтя дослідів, які в ній можна виконати, але саме виконання дослідів відбувалось повністю самостійно, у тій кількості та порядку, які самі учні вважали за потрібне. Екранні копії роботи програми на смартфоні наведено у додатку Д.

По завершенню роботи з програмою для оцінювання її якості та ефективності учням було запропоновано пройти анкетування.

Анкета включала 4 питання (з варіантами відповідей):

1. Наскільки ефективним на Вашу думку є використання технологій доповненої реальності на уроках хімії?

- а) дуже ефективно;
- б) неефективно;
- в) 50/50 – важко визначитись;
- г) інколи можна використовувати;
- д) мені не подобається віртуальне навчання.

2. Чи використовували ви раніше можливості доповненої реальності, на уроках та поза ними?

- а) Так, використовував
- б) Ні, не використовував
- в) Знаю про можливості AR, не мав нагоди використовувати

3. Чи допомогло Вам використання доповненої реальності краще зрозуміти сутність переглянутих хімічних явищ?

- а) так, дуже допомогло
- б) деякі моменти стали більш зрозумілими
- в) ніяк не допомогло
- г) допомогло, але краще б це все виконувати у реальній лабораторії
- д) не допомогло, але було цікаво

4. Що Вам найбільше сподобалось у процесі використання додатку доповненої реальності в хімії?

- а) можливість виконувати досліди самостійно
- б) можливість виконувати досліди у зручний час
- в) можливість повторювати дослід багато разів
- г) новизна ідеї – такого на уроках хімії ще не було
- д) можливість отримати нові знання і враження
- е) нічого із переліченого вище

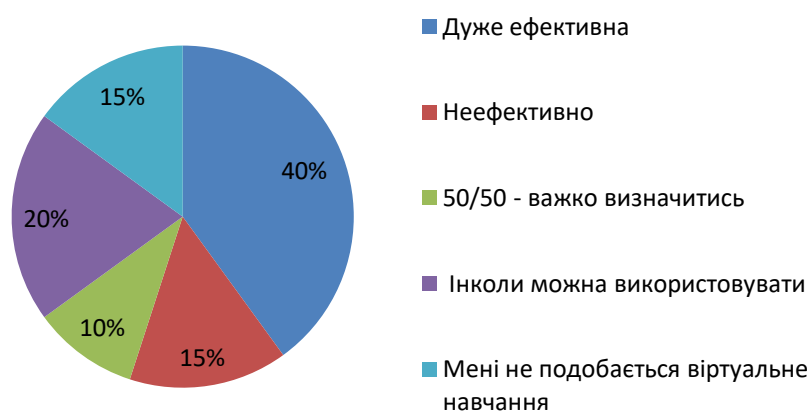


Рис. 2.1. Розподіл відповідей на питання №1 анкети

На рис. 2.1 розміщена діаграма розподілу відповідей учнів на запитання анкети щодо ефективності використання доповненої реальності на уроках хімії, з якої можна зробити висновок, що загалом учні вважають доповнену реальність в хімії ефективною, що стосується показників то 10% задоволені 50/50, 15% не вважають доповнену реальність ефективною, також 20% вважають що дану технологію можна використовувати для навчання хімії інколи, 15% не подобається віртуальне навчання загалом і 40% опитаних вважають доповнену реальність дуже ефективною для навчання хімії.

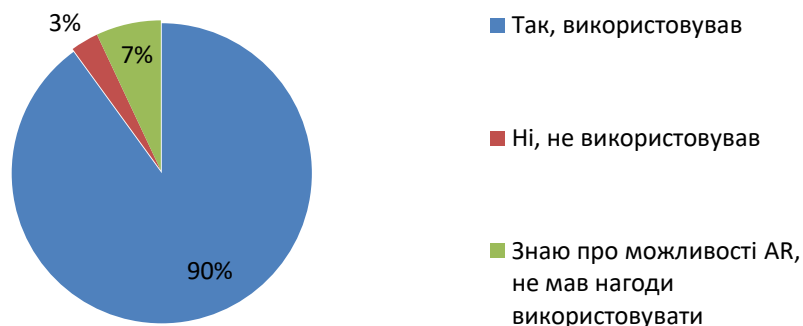


Рис. 2.2. Розподіл відповідей на питання №2 анкети

На рис. 2.2 розміщена діаграма розподілу відповідей учнів на запитання анкети щодо використання раніше програмного засобу доповненої реальності на уроках та поза ними, з якої можна зробити висновок, що 90% учнів знають про доповнену реальність, та використовували певні додатки для різних цілей. 7% опитаних знають про можливості AR, але не мали нагоди використовувати. І лише 3% зовсім не використовували можливості доповненої реальності раніше.



Рис. 2.3. Розподіл відповідей на питання №3 анкети

На рис. 2.3 розміщена діаграма розподілу відповідей учнів на запитання анкети чи допомогло їм використання доповненої реальності краще зрозуміти сутність переглянутих хімічних явищ.

З отриманих відповідей можна зробити висновок, що переважна більшість – 71% учнів вважають використання програмного засобу доповненої реальності в хімії, дуже допомогло їм. 12% стверджують, що деякі моменти стали більш зрозумілими, 10% впевнені що допомогло, але краще б все виконувати у лабораторії. 4% вважають, що не допомогло, але їм було цікаво, і лише 3% опитаних не вбачають користі у використанні доповненої реальності на уроках хімії, і говорять що їм це ні як не допомогло.

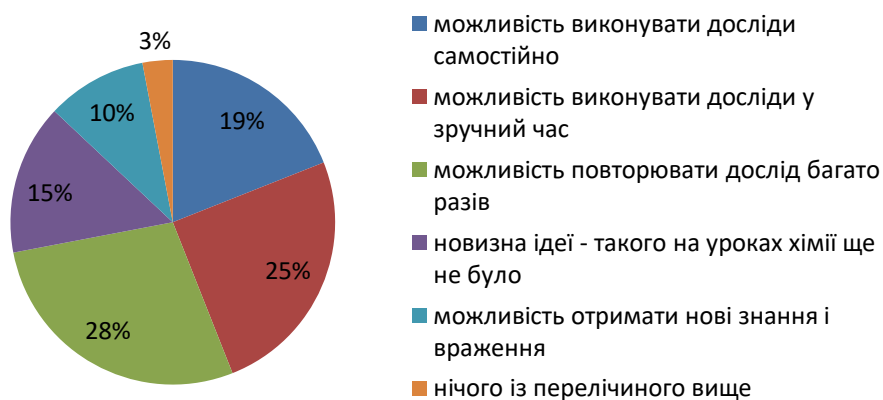


Рис. 2.4. Розподіл відповідей на питання №4 анкети.

На рис. 2.4 розміщена діаграма розподілу відповідей учнів на запитання анкети про те, що найбільше сподобалось у процесі використання додатку доповненої реальності в хімії. Після проведення анкетування отримали такі результати: 28% сподобалась найбільше можливість повторювати дослід багато разів, 25% – можливість виконувати досліди у зручний час, 19% – можливість виконувати досліди самостійно, 15% сподобалась новизна ідеї, діти такого на уроках хімії ще не бачили, 10% – можливість отримати нові знання і враження, і лише 3% опитаних не сподобалось нічого з вище переліченого.

## Висновки до розділу 2

Користуватися можливостями доповненої реальності можна з багатьох пристроїв, але найбільш зручними та доступними у використанні все ж таки залишаються смартфони.

Наразі існує велика кількість програм, за допомогою яких можна створити додатки доповненої реальності, але більшість з них або є платною, або потребує наявності спеціальних знань з програмування та потужного обладнання. Хмарні технології створення доповненої реальності надають можливість уникнути проблем з розробкою додатку, необхідністю його завантаження та підлаштування під операційну систему тощо.

Використовуючи A-Frame та AR.js, було створено лабораторну роботу, яка являє собою набір маркерів, до кожного з яких прив'язана певна речовина, і, при наведенні на окремі маркери камери пристрою, користувач бачить її зображення. Щоб виконати дослід за участю відповідних речовин, необхідно поєднати два відповідних маркери перед камерою мобільного пристрою, та спостерігати на екрані відеозапис процесу виконання дослідів.

Виконання віртуальної лабораторної роботи із використанням доповненої реальності має низку переваг, проте слід відмітити і недоліки:

- неможливість проведення реакцій між трьома чи більшою кількістю реактивів;
- неможливість спостерігати за перебігом реакції з різних ракурсів та змінювати порядок додавання реактивів тощо;
- неможливість отримувати інформацію від усіх органів чуття – тільки візуальна інформація, що передається у відео;
- будь-який набір реактивів для виконання віртуальних дослідів є обмеженим, а поєднувати реактиви із різних наборів неможливо.

Зазначені вище недоліки можливо виправити у майбутньому шляхом використання можливостей різних хмарних додатків, браузерів, удосконалення коду програми доповненої реальності тощо.



Аналіз відповідей учнів на питання анкети засвідчив, що більшості з них сподобалось використовувати засіб доповненої реальності для вивчення хімії і вони вважають його ефективним – таким, що допоміг їм зрозуміти краще сутність матеріалу, що вивчався. Серед переваг цього програмного засобу відмітили можливість багаторазового повторення хімічних експериментів у зручний для користувача час, також значна кількість респондентів назвала перевагою можливість виконувати досліди самостійно, тобто впливати на хід виконання хімічних експериментів бодай у віртуальному середовищі.

## ВИСНОВКИ

Навчально-дослідницька діяльність учнів є невід'ємною складовою процесу навчання – сучасні концепції освіти відводять навчально-дослідницькій діяльності учнів провідну роль у процесі навчання, а роль вчителя полягає у організації та стимулюванні навчально-дослідницької діяльності учнів. Завданням нової української школи є виховання особистості, яка прагне і здатна до активного здобування знань, у тому числі шляхом здійснення навчально дослідницької діяльності.

Навчально-дослідницька діяльність учнів з хімії має низку особливостей, пов'язаних з активним використанням хімічного експерименту як засобу навчання. Активне здобування знань учнем з точки зору психології призводить до найбільш ефективного та міцного їх засвоєння, а тому використання хімічного експерименту є обов'язковою умовою ефективного навчання хімії.

Згідно навчальних програм з хімії у 11-х класах відбувається вивчення та поглиблення знань з неорганічної та загальної хімії. Серед хімічних експериментів, запланованих до виконання як у формі демонстрацій, так і у формі практичних та лабораторних робіт, значно переважають експерименти якісного характеру.

Для підвищення якості навчання хімії через підтримку навчально-дослідницької діяльності учнів застосовуються різноманітні засоби ІКТ, особливо ефективними серед яких виявились віртуальні хімічні лабораторії. Проте доступних і пристосованих до змісту програми з хімії 11-го класу віртуальних хімічних лабораторій практично немає, оскільки вони орієнтовані переважно на моделювання кількісних, а не якісних експериментів.

Технології доповненої реальності можуть стати важливим засобом підтримки навчально-дослідницької діяльності одинадцятикласників у сучасній українській школі: вони надають можливість візуалізувати та полегшити процес сприйняття учнями нової для них інформації в процесі

навчання, урізноманітнює діяльність учня і вчителя, робить процес навчання сучасним, динамічним і захопливим. Впровадження технологій доповненої реальності у процес навчання хімії є світовим трендом.

Сучасні технології доповненої реальності реалізуються на доволі простому і доступному обладнанні, яким є смартфони тощо, при цьому найчастіше реалізується варіант орієнтування у просторі за допомогою доповненої реальності з орієнтацією на мітку (маркер).

Сучасні тенденції до розробки програмного забезпечення із застосуванням хмарних технологій призвели до створення можливості відтворювати ефекти доповненої реальності безпосередньо в браузері, без потреби у завантаженні та встановленні спеціальних додатків. Це суттєво розширює як аудиторію користувачів доповненої реальності, так і до певної міри спрощує розробку та поширення самих програмних засобів із використанням доповненої реальності.

Найбільш доцільними для розробки програмних засобів доповненої реальності для браузерів на сьогодні є A-Frame та AR.js – ці API, специфічні засоби швидкого прототипування, і більша частина коду з їх використанням – це HTML подібний код, яким користується JavaScript на сервері. A-Frame використовується для створення сцен, об'єктів, анімації та інших 3D-елементів у веб-браузері. AR.js відслідковує маркер і відображає створену в A-Frame сцену на самому маркері.

Створена AR-віртуальна хімічна лабораторія «Якісні реакції хлорид-, бромід- та йодид-йонів» була використана як під час проведення уроків хімії у 11-х класах КЗШ №21 I-III ст. у II семестрі 2020-21 н.р., та у I семестрі 2021-22 н.р., так і у позаурочній діяльності – у якості самостійного виконання учнями дослідження з теми «Якісні реакції галогенід-йонів». Оскільки вивчення хімії у цьому класі здійснюється на рівні стандарту, то на уроках було використано не весь потенціал розробленої програми, проте у повній мірі розроблена віртуальна лабораторія може бути використана у одинадцятих класах із профільним вивченням хімії.

Головними перевагами розробленої AR-віртуальної лабораторії є можливість безпечно у будь-який зручний для учнів час виконати низку хімічних експериментів, у такій кількості та послідовності, яку визначають самі користувачі. Учні, таким чином, активно беруть участь у роботі з реактивами та посудом, щоправда у віртуальному середовищі, проте висновки, які вони роблять за результатами численних експериментів є цілком реальними, самостійно отриманими. До недоліків AR-віртуальної лабораторної роботи належать обмежений набір можливих дослідів, недостатня якість відтворення перебігу експериментів та неможливість отримати навички роботи з реальним хімічним посудом та реактивами.

По завершенню роботи з програмою для оцінювання її якості та ефективності учням 11-х класів було запропоновано пройти анкетування, за результатами якого було виявлено, що більшості опитаних сподобалась робота з доповненою реальністю на уроці хімії, в першу чергу за рахунок нестандартного підходу та новизни, також більшість учнів вважають програму ефективною у процесі вивчення окремих тем курсу хімії 11-го класу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A web framework for building 3D/AR/VR. URL : <https://aframe.io/>  
(дата звернення: 12.11.2022).
2. AR VR Molecules Editor Free. URL : [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vspaces.molb\\_free&hl=ru&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vspaces.molb_free&hl=ru&gl=US).  
(дата звернення: 31.10.2022).
3. ARToolKit. URL : <http://www.artoolkitx.org/> (дата звернення: 29.10.2022).
4. ARToolKit. URL : <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit.html>  
(дата звернення: 21.11.2022).
5. Atomic Structure AR Learning Gear. URL : <http://larngeartech.com/products/atomic-structure-ar-learning-gear/> (дата звернення: 21.11.2022).
6. Augment. URL : <https://www.augment.com/> (дата звернення: 13.11.2022)
7. Caudell T. P., Mizell D. W. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. – 1992. – №2. – С. 659–669.
8. Cieutat J., Hugues O., Ghouaiel N. Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills. International Journal of Computer Applications. – 2012. №3.– С.31-36. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00739730/document> (дата звернення: 20.10.2021).
9. Dáskalos Chemistry. URL : <https://prefrontalcortex.de/en/projects/daskalos/> (дата звернення: 31.10.2022).
10. Heilig M. L. El Cine del Futuro: The Cinema of the Future. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1(3), 279–294 (1992).

11. Heilig M.L. Sensorama Simulator. пат. 3,050,870 США; завл. 10.01.1961; опубл. 28.08.1962. 8 с.
12. Krueger M. W. Artificial Reality. Addison-Wesley, Reading, 1983.
13. Krueger M. W. Responsive environments. In: AFIPS '77 Proceedings of the National computer conference, 1977. – С. 423–433.
14. Maier P. Klinker G. Augmented Chemical Reactions: An Augmented Reality Tool to support Chemistry Teaching. Technische Universitat Munchen. – 2013. URL : <http://campar.in.tum.de/pub/maierp2013expat/maierp2013expat.pdf>. (дата звернення: 04.11.2022).
15. Martin-Gutierrez, J., Guinters, E., Perez-Lopez D.: Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality. Procedia – Social and Behavioral Sciences URL: [https://www.academia.edu/28925510/Improving\\_Strategy\\_of\\_Self\\_Learning\\_in\\_Engineering\\_Laboratories\\_with\\_Augmented\\_Reality](https://www.academia.edu/28925510/Improving_Strategy_of_Self_Learning_in_Engineering_Laboratories_with_Augmented_Reality).
16. MEL Chemistry. URL : <https://melscience.com/US-en/> (дата звернення: 05.10.2022).
17. Mozilla Mixed Reality Blog — Introducing A-Frame: Building Blocks for WebVR. URL : <https://blog.mozvr.com/introducing-aframe/> (дата звернення: 05.10.2022).
18. Nechypurenko P. P. Development and implementation of educational resources in chemistry with elements of augmented reality. *Augmented Reality in Education : Proceedings of the 2nd International Workshop (AREdu 2019)*, Kryvyi Rih, Ukraine, March 22, 2019. – P. 156-167. URL : <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper12.pdf> (дата звернення: 01.11.2022).
19. Nechypurenko P. P. Use of Augmented Reality in Chemistry Education. AREdu 2018 : International Workshop on Augmented Reality in Education. URL : [http://aredu.ccjournals.eu/aredu2018/wp-content/uploads/2018/07/Nechypurenko\\_Starova\\_et\\_al\\_paper04.pdf](http://aredu.ccjournals.eu/aredu2018/wp-content/uploads/2018/07/Nechypurenko_Starova_et_al_paper04.pdf) (дата звернення: 15.10.2022).

20. Nechypurenko P. Selivanova T. Chernova M. Using the Cloud-Oriented Virtual Chemical Laboratory VLab in Teaching the Solution of Experimental Problems in Chemistry of 9th Grade Students. *ICTERI 2019: ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer* : Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops. Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019. – CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2393. – P. 968-983. URL : [http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper\\_329.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper_329.pdf) (дата звернення: 27.10.2022).

21. Nechypurenko P. Selivanova T. Modlo Y. Virtual Chemical Laboratories as a Tools of Supporting the Learning Research Activity of Students in Chemistry While Studying the Topic "Solutions". *ICTERI 2020: ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer* : Proceedings of the 16th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Kharkiv, Ukraine, October 6-10, 2020. – CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2732. – P. 984-995. URL : <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200984.pdf> (дата звернення: 27.10.2022).

22. Podolskiy A. Activity Theories of Learning. Encyclopedia of the Sciences of Learning : With 312 Figures and 68 Tables / Editor Norbert M. Seel. – New York ; Dordrecht ; Heidelberg ; London : Springer, 2012. – P. 83-85.

23. QuimicAR. URL : <https://apkpure.com/quimicar-chemistryar/com.CreativiTIC.AugmentedClass> (дата звернення: 27.10.2022).

24. StudyMarvel - Chemistry AR. URL : <https://apkpure.com/studymarvel-chemistry-ar/com.StudyMarvelAR.ImmersiveChemistryAR>. (дата звернення: 27.10.2022).

25. Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display. In: Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conferences, Washington, 1968.

26. Vuforia. URL : <https://developer.vuforia.com/> (дата звернення: 29.10.2021).

27. Андреев В. И. Эвристическое программирование учебно-исследовательской деятельности (в обучении естественным предметам) : дис. ... доктора пед. наук : 13.00.01 – теория и история педагогіки. Министерство просвещения РСФСР, Казанский ордена Трудового Красного знамени государственный педагогический институт. – Казань, 1983. – 453 с.

28. Бондар В. І. Процес навчання. Енциклопедія освіти / Академія педагогічних наук України ; головний редактор академік НАН і АПН України, Президент АПН України В. Г. Кремень. – К. : Юрінком Інтер, 2008. – С. 745.

29. Бондарчук Е. И. Бондарчук Л. И. Основы психологии и педагогики : курс лекций. 3-е изд., стереотип. – К. : МАУП, 2002. – 168 с.

30. Гальперин П. Я. Введение в психологию : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по гуманитар. специальностям / П. Я. Гальперин. – М. : Университет ; Ростов-на-Дону : Феникс, 1999. – 332 с.

31. Доповнена реальність (AR). URL : <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/dopolnennaja-realnost-ar> (дата звернення: 10.10.2022).

32. Карпенко Д. І. Дослідження технології доповненої реальності та розробка інтерактивного музейного AR-додатку // Харківський національний університет радіоелектроніки. URL : [https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/11967/1/Karpenko\\_DI\\_2019.pdf](https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/11967/1/Karpenko_DI_2019.pdf) (дата звернення: 26.10.2022).

33. Модло Є. О. Використання технології доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі навчання ВНЗ / Є. О. Модло, Ю. В. Єчкало, С. О. Семеріков, В. В. Ткачук // Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – Кропивницький, 2017. – Випуск 11, частина 1. – С. 93-100.

34. Нечипуренко П. П. Деякі аспекти імітації реальних хімічних процесів та систем у віртуальних хімічних лабораторіях. Теорія та методика електронного навчання : збірник наукових праць. Випуск III. – Кривий Ріг : Видавничий відділ НМетАУ, 2012. – С. 238-245.



35. Нечипуренко П. П., Семеріков С.О., Томіліна Л.І. Теоретико-методичні засади використання інформаційно-комунікаційних технологій як засобу формування дослідницьких компетентностей старшокласників у профільному навчанні хімії: монографія. Теорія та методика електронного навчання. – Кривий Ріг : Видавничий відділ ДЗВО «Криворізький національний університет», 2018. – Том IX. – Випуск 1 (9) : спецвипуск «Монографія в журналі». – 350 с. : іл.

36. Нова українська школа : концептуальні засади реформування. Міністерство освіти і науки України. – К., 27.10.2016. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf> (дата звернення: 10.10.2021)

37. Пустовіт Г. П. Дослідницька діяльність дітей та учнівської молоді. Енциклопедія освіти / Головний редактор В. Г. Кремень ; Академія педагогічних наук України. – К. : Юрінком Інтер, 2008. – С. 236-237.

38. Семеріков С. О. Розробка програмного забезпечення із доповненою реальністю з використанням JavaScript URL : <https://playground2.ccjournals.eu/w14.pdf>

39. Семеріков С. О., Ткачук В. В., Єчкало Ю. В. Мобільно орієнтоване середовище навчання фундаментальних і фахових дисциплін студентів вищих навчальних закладів. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених «Наукова молодь-2016». – 2016. URL : <http://lib.iitta.gov.ua/705827/> (дата звернення: 29.10.2022).

40. Ткачук В.В., Семеріков С.О., Єчкало Ю.В., Маркова О. М. Засоби розробки доповненої реальності для Web: порівняльний аналіз. 2020. URL : [https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2020-v2-24/2020\\_2-24-Тkachuk-Semerikov\\_FMO.pdf](https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2020-v2-24/2020_2-24-Тkachuk-Semerikov_FMO.pdf) (дата звернення: 29.10.2022).

41. Хімія 10-11 класи. Профільний рівень : Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Міністерство освіти і науки України; Укладачі: Бобкова О. С., Бухтіяров В. К., Валюк В. Ф., Величко Л. П., Дубовик О. А., Павленко В. О., Пугач С. В., 2017. URL :

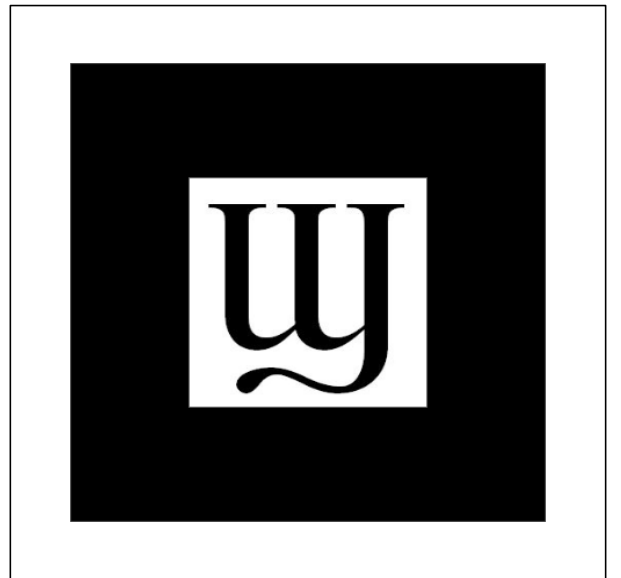
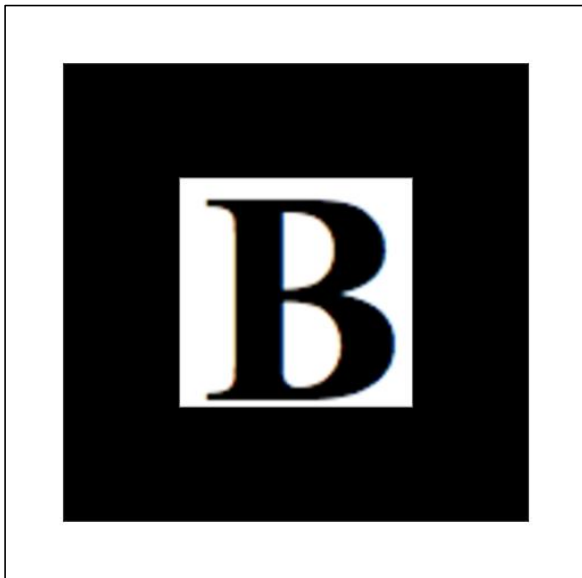
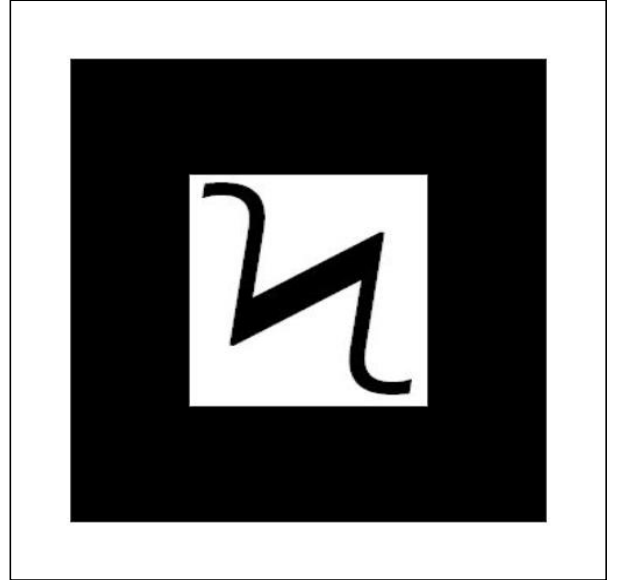
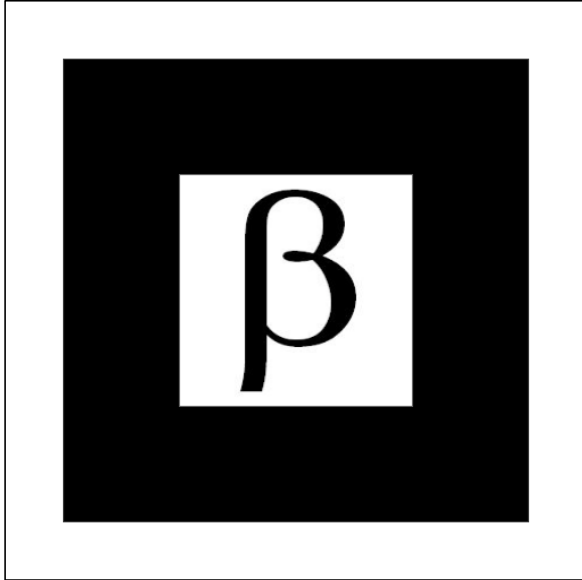
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/ximiya-10-11-profilnij-riven.docx> (дата звернення: 27.10.2022).

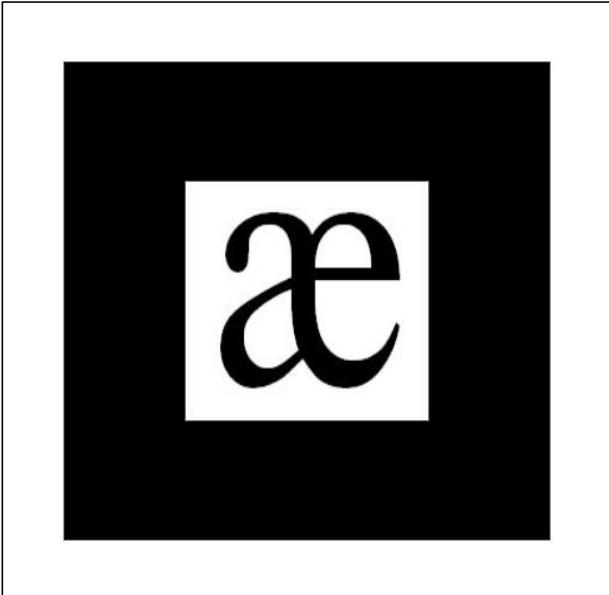
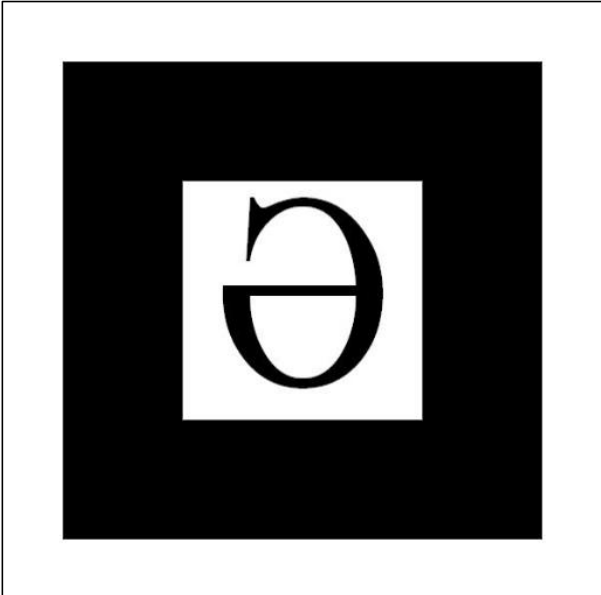
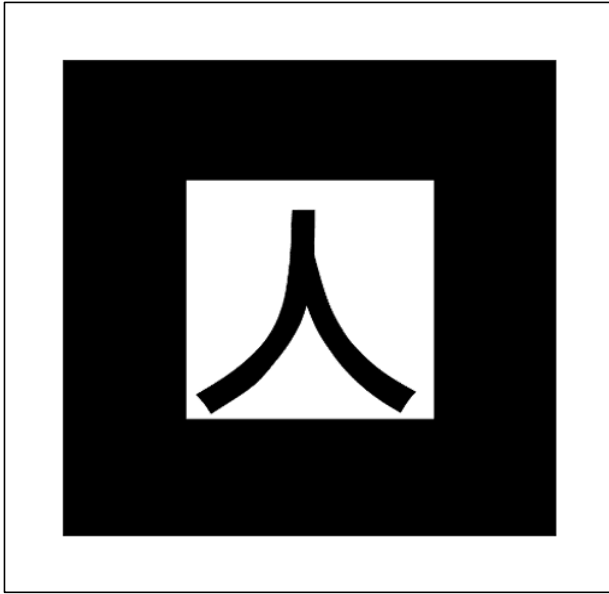
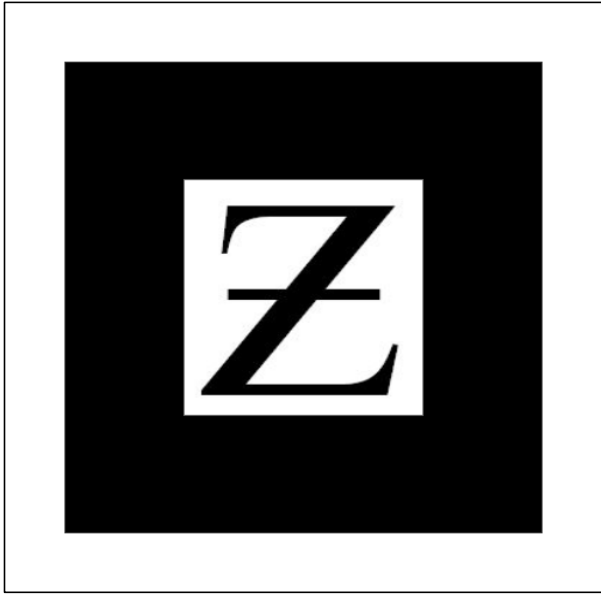
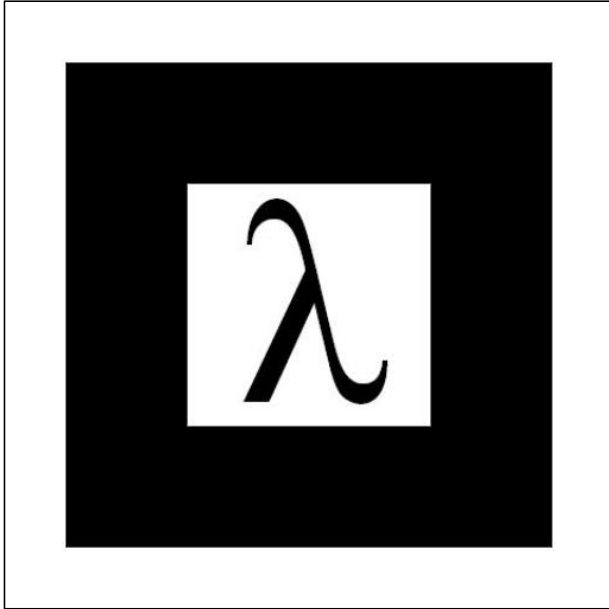
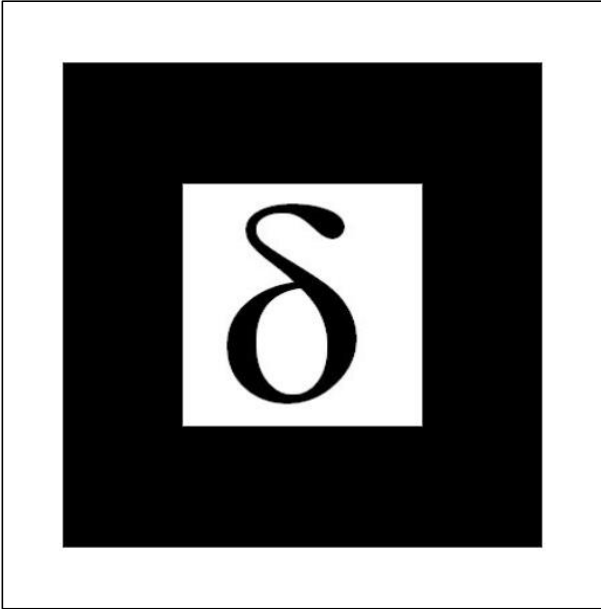
42. Хімія 10-11 класи. Рівень стандарту : Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Міністерство освіти і науки України; Укладачі: Дубовик О. А., Бобкова О. С., Вороненко Т. І., Глазунов М. М., Іваха Т. С., Рогожнікова О. В., 2017. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/ximiya-10-11-riven-standartu.docx> (дата звернення: 27.10.2022).

## **ДОДАТКИ**

ДОДАТОК А

Набір маркерів для друку





















## ДОДАТОК Б

Таблиця 1





Таблиця відповідності реактивів, маркерів та зображень.

№	Реактив	Маркер	Зображення
0	Аргентум нітрат $\text{AgNO}_3$	pattern-0.patt 	AgNO3.jpg 
1	Плюмбум(II) нітрат $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	pattern-1.patt 	Pb(NO3)2.jpg 

2	Хлоридна кислота HCl	pattern-2.patt 	HCl.jpg 
3	Калій хлорид KCl	pattern-3.patt 	KCl.jpg 
4	Натрій хлорид NaCl	pattern-4.patt 	NaCl.jpg 

5	Амоній хлорид $\text{NH}_4\text{Cl}$	pattern-5.patt 	NH4Cl.jpg 
6	Калій бромід $\text{KBr}$	pattern-6.patt 	KBr.jpg 
7	Амоній бромід $\text{NH}_4\text{Br}$	pattern-7.patt 	NH4Br.jpg 



8	Калій йодид $KI$	pattern-8.patt 	KI.jpg 
9	Амоній йодид $NH_4I$	pattern-9.patt 	NH4I.jpg 

## ДОДАТОК В

### Програмний код файлу index.html

```

<html>
  <head>
    <style>
      button {
        color: lightgreen; background: #0000aa; height: 150px;
        width: 450px; font-size:200%; border: 2px solid powderblue;
        padding: 30px; position: fixed; padding: 1vh;
        bottom: 1vh; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%);
        top: 50%;
      }
      #markers {
        font-size: 138%; border: 2px solid powderblue; padding: 30px;
        position: fixed; bottom: 1vh; left: 50%;
        transform: translateX(-50%);
      }
    </style>
  </head>
  <body>
    <a href="ar.html" target="_blank"><button>Перейти до віртуальної
    лабораторії</button></a><p>
    <a href="markers.pdf" target="_blank" id="markers">Натисніть для
    завантаження набору маркерів - роздрукуйте та розріжте їх. У
    віртуальній лабораторії покажіть їх камері, й, після появи на
    маркері зображення, спробуйте їх зблизити, але без
    накладання.</a>
  </body>
</html>

```

**ДОДАТОК Г****Код основного файлу AR.html**

```
<html>
<head>
  <title>Віртуальна хімічна лабораторія у доповненій реальності</title>
  <script src="https://aframe.io/releases/1.3.0/aframe.min.js"></script>
  <script src="https://raw.githack.com/AR-js-
org/AR.js/master/aframe/build/aframe-ar.js"></script>
<script>

/*
10 маркерів: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
0-1, 0-2, 0-3, 0-4, 0-5, 0-6, 0-7, 0-8, 0-9
1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9
2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9
3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9
4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9
5-6, 5-7, 5-8, 5-9
6-7, 6-8, 6-9
7-8, 7-9
8-9
markerVisible[0], ... markerVisible[9]
*/

const howmuch=1.4;
```

```
let isReaction = false;
```

```
let distance = howmuch+1;
```

```
let markerVisible = [ false, false, false, false, false, false, false, false, false, false ];
```

```
let M = [ null, null, null, null, null, null, null, null, null, null ];
```

```
let d = [ null, null, null, null, null, null, null, null, null, null ];
```

```
let X = [
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
  [null, null, null, null, null, null, null, null, null, null],
```

```
] ;//[ false, false, false, false, false, false, false, false, false, false ];
```

```
let p = [ null, null, null, null, null, null, null, null, null, null ];
```

```

AFRAME.registerComponent('registerevents', {
  init: function () {
    let marker = this.el;

    marker.addEventListener('markerFound', function() {

      index = parseInt(marker.id[1])

      markerVisible[ index ] = true;

      d[index] = document.querySelector("#draw"+index);
      //X[index] = document.querySelector("#drawX"+index);

      if(d[index]!=null)

        d[index].setAttribute("visible", "true");
//    console.log("Found M = "+index);

    });

    marker.addEventListener('markerLost', function() {

      index = parseInt(marker.id[1])

      markerVisible[ index ] = false;

      if(d[index]!=null)

        d[index].setAttribute("visible", "false");
//    console.log("Lost M = "+index);

    });

  }

});

isVideoPlay = false;

AFRAME.registerComponent('run', {

```

```

init: function() {
  for (let i = 0; i < 10 ; i++)
  {
    M[i] = document.querySelector("#M"+i);
    d[i] = document.querySelector("#draw"+i);
    p[i] = new THREE.Vector3();
    if (markerVisible [i])
      d[i].setAttribute("visible", "true");
  }

  for (let i = 0; i < 10 ; i++)
    for (let j = 0; j < 10 ; j++)
      if(i!=j)
        X[i][j] = document.querySelector("#drawX"+i+""+j);

},

tick: function (time, deltaTime) {
  let visible = []
  for (let i=0;i<10;i++)
    if (markerVisible[i]==true)
      visible.push(i)//добавить в массив номер маркер

  if(visible.length!=2)
  {

```

```

for (let i = 0; i < 10 ; i++)
  for (let j = 0; j < 10 ; j++)
    if(i!=j && X[i][j]!=null)
      X[i][j].setAttribute("visible", "false");

isVideoPlay = false;

return;
}

marker1 = visible[0];
marker2 = visible[1];

M[marker1].object3D.getWorldPosition(p[marker1]);
M[marker2].object3D.getWorldPosition(p[marker2]);

distance = p[marker1].distanceTo( p[marker2] );
//console.log("dist = "+distance);
isReaction=(distance <= howmuch);
if(isReaction)
{
  if(!isVideoPlay)
  {
    if(d[marker1]!=null) d[marker1].setAttribute("visible", "false");
  }
}

```

```
    if(d[marker2]!=null) d[marker2].setAttribute("visible", "false");
    X[marker1][marker2].setAttribute("visible", "true");
    var
id="#" + X[marker1][marker2].getAttribute("material").src.getAttribute("id");
    var video=document.querySelector(id);
    video.currentTime=0;
    video.play();
    isVideoPlay = true;
}
}
else
{
    if(d[marker1]!=null) d[marker1].setAttribute("visible", "true");
    if(d[marker2]!=null) d[marker2].setAttribute("visible", "true");
    X[marker1][marker2].setAttribute("visible", "false");
    var
id="#" + X[marker1][marker2].getAttribute("material").src.getAttribute("id");
    var video=document.querySelector(id);
    video.currentTime=0;
    video.pause();
    isVideoPlay = false;
}
}
});
```



```
</script>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
<!--<a-scene embedded vr-mode-ui="enabled: false;" arjs="debugUIEnabled:  
false; detectionMode: mono_and_matrix;" > -->
```

```
<a-scene
```

```
  vr-mode-ui="enabled: false;"
```

```
  renderer="logarithmicDepthBuffer: true;"
```

```
  embedded
```

```
  arjs="trackingMethod: best; sourceType: webcam;debugUIEnabled: false;"
```

```
>
```

```
<a-assets>
```

```
  <video id="video00-1" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"  
  loop="false" src="video/09.mp4"></video>
```

```
  <video id="video00-2" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"  
  loop="false" src="video/14.mp4" ></video>
```

```
  <video id="video00-3" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"  
  loop="false" src="video/1.1.mp4"></video>
```

```
  <video id="video00-4" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"  
  loop="false" src="video/1.2.mp4"></video>
```

```
  <video id="video00-5" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"  
  loop="false" src="video/1.3.mp4"></video>
```

```
  <video id="video00-6" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"  
  loop="false" src="video/1.4.mp4"></video>
```

```
<video id="video00-7" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/1.5.mp4"></video>
```

```
<video id="video02" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/16.mp4"></video>
```

```
<video id="video03-04" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/10.mp4"></video>
```

```
<video id="video05" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/17.mp4"></video>
```

```
<video id="video06" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/06.mp4"></video>
```

```
<video id="video07" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/03.mp4"></video>
```

```
<video id="video08-09" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/02.mp4"></video>
```

```
<video id="video12" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/08.mp4"></video>
```

```
<video id="video13" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/11.mp4"></video>
```

```
<video id="video14" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/13.mp4"></video>
```

```
<video id="video15" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/07.mp4"></video>
```

```
<video id="video16" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/05.mp4"></video>
```

```
<video id="video17" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/04.mp4"></video>
```

```
<video id="video18-19" preload="auto" muted poster="images/starting.jpg"
loop="false" src="video/01.mp4"></video>
```

</a-assets>

<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-0.patt" id="M0" registerevents>

<a-plane src="images/AgNO3.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw0"></a-plane>

<a-entity material="shader: flat; src: #video00-1" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX01" visible="false"></a-

entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video02" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX02" visible="false"></a-

entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video03-04" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX03" visible="false"></a-

entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video03-04" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX04" visible="false"></a-

entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video05" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX05" visible="false"></a-

entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video06" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX06" visible="false"></a-

entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video07" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

```

rotation="-90 0 0" id="drawX07" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video08-09" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX08" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video08-09" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX09" visible="false"></a-
entity>

</a-marker>

<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-1.patt" id="M1" registerevents>

<a-plane src="images/Pb(NO3)2.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw1"></a-
plane>

<a-entity material="shader: flat; src: #video12" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX12" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video13" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX13" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video14" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX14" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video15" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX15" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video16" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX16" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video17" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX17" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video18-19" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX18" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video18-19" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX19" visible="false"></a-
entity>
```

```
</a-marker>
```

```
<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-2.patt" id="M2" registerevents>
```

```
<a-plane src="images/HCl.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw2"></a-plane>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-1" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX23" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-2" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX24" visible="false"></a-
entity>
```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-3" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
        rotation="-90 0 0" id="drawX25" visible="false"></a-
entity>

```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-4" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
        rotation="-90 0 0" id="drawX26" visible="false"></a-
entity>

```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-5" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
        rotation="-90 0 0" id="drawX27" visible="false"></a-
entity>

```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-6" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
        rotation="-90 0 0" id="drawX28" visible="false"></a-
entity>

```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-7" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
        rotation="-90 0 0" id="drawX29" visible="false"></a-
entity>

```

```

</a-marker>

```

```

<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-3.patt" id="M3" registerevents>

```

```

    <a-plane src="images/KCl.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw3"></a-plane>

```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-1" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
        rotation="-90 0 0" id="drawX34" visible="false"></a-
entity>

```

```

    <a-entity material="shader: flat; src: #video00-2" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

```

```

rotation="-90 0 0" id="drawX35" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video00-3" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX36" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video00-4" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX37" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video00-5" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX38" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video00-6" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX39" visible="false"></a-
entity>

</a-marker>

<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-4.patt" id="M4" registerevents>
<a-plane src="images/NaCl.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw4"></a-plane>
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-7" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX45" visible="false"></a-
entity>

<a-entity material="shader: flat; src: #video00-1" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

rotation="-90 0 0" id="drawX46" visible="false"></a-
entity>

```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-2" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX47" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-3" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX48" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-4" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX49" visible="false"></a-
entity>
```

```
</a-marker>
```

```
<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-5.patt" id="M5" registerevents>
```

```
<a-plane src="images/NH4Cl.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw5"></a-plane>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-5" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX56" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-6" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX57" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-7" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX58" visible="false"></a-
entity>
```

```
<a-entity material="shader: flat; src: #video00-1" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
```



```

rotation="-90 0 0" id="drawX59" visible="false"></a-
entity>
</a-marker>

<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-6.patt" id="M6" registerevents>
  <a-plane src="images/KBr.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw6"></a-plane>
  <a-entity material="shader: flat; src: #video00-2" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX67" visible="false"></a-
entity>
  <a-entity material="shader: flat; src: #video00-3" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX68" visible="false"></a-
entity>
  <a-entity material="shader: flat; src: #video00-4" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX69" visible="false"></a-
entity>
</a-marker>

<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-7.patt" id="M7" registerevents>
  <a-plane src="images/NH4Br.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw7"></a-plane>
  <a-entity material="shader: flat; src: #video00-5" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"
rotation="-90 0 0" id="drawX78" visible="false"></a-
entity>
  <a-entity material="shader: flat; src: #video00-6" geometry="primitive: plane;
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"

```

```
rotation="-90 0 0" id="drawX79" visible="false"></a-  
entity>  
</a-marker>  
  
<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-8.patt" id="M8" registerevents>  
  <a-plane src="images/KI.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw8"></a-plane>  
  <a-entity material="shader: flat; src: #video00-7" geometry="primitive: plane;  
width: 0.90; height: 1.60;" position="0 0 0" scale="1.5 1.5 1.5"  
    rotation="-90 0 0" id="drawX89" visible="false"></a-  
entity>  
</a-marker>  
  
<a-marker type="pattern" url="markers/pattern-9.patt" id="M9" registerevents>  
  <a-plane src="images/NH4I.jpg" rotation="-90 90 0" id="draw9"></a-plane>  
</a-marker>  
  
<a-entity camera></a-entity>  
<a-entity run></a-entity>  
</a-scene>  
  
</body>  
</html>
```

## ДОДАТОК Д

Робота віртуальної хімічної лабораторії у доповненій реальності  
(<https://lefoxi.github.io/ARdip/>)



Рис. Д. 1. Відображення реактиву на  
одиначному маркері

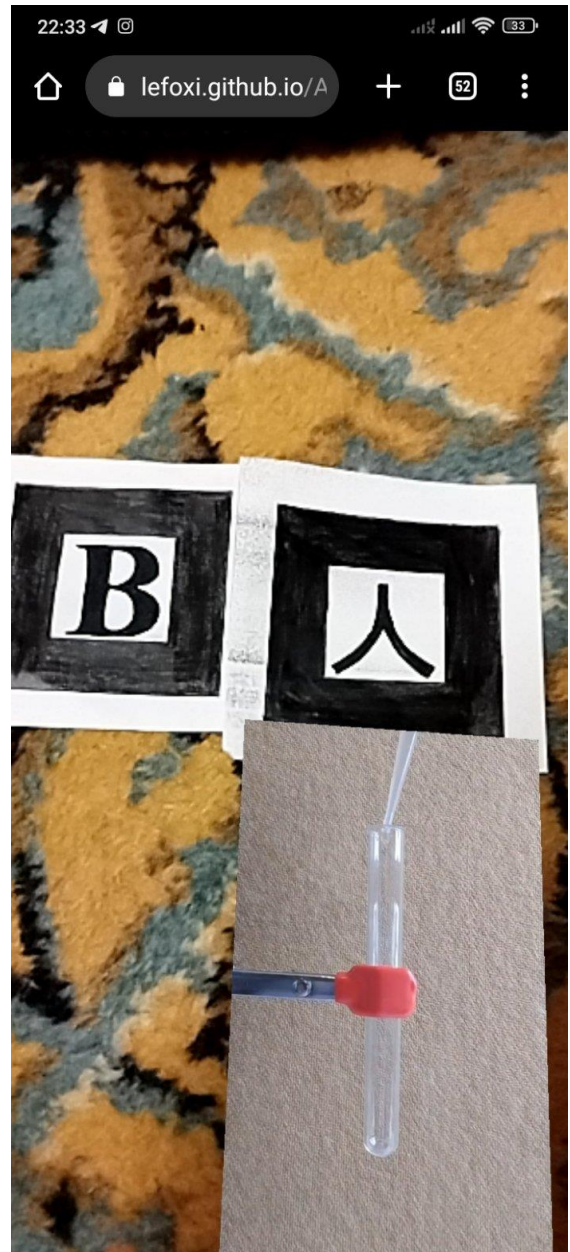


Рис. Д. 2. Відображення відеозапису  
реакції між двома реактивами, які  
закодовані двома маркерами