

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних наук, фізики та математики
Кафедра комп'ютерних наук та програмної інженерії

ПРОГРАМНІ МОДУЛІ ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ З
ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАКОНІВ

Кваліфікаційна робота (проект)
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконав: здобувач 2 курсу 231М групи

Спеціальності: 122 Комп'ютерні науки

Освітньо-професійної програми:

Комп'ютерні науки

Тарасюк Артур Олександрович

Керівник кандидат фізико-математичних
наук, доцент

Кравцов Геннадій Михайлович

Рецензент доктор педагогічних наук,
професор Кузьменков Сергій Георгійович

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 3D-ОБ'ЄКТИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	9
1.1 Використання технологій доповненої реальності у програмному забезпеченні навчального призначення	9
1.2. Технологія Unity 3D	15
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ З ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАКОНІВ	18
2.1 Моделювання та проєктування 3D-об'єктів з використанням технології доповненої реальності навчального призначення	18
2.2 Реалізація програмних модулів доповненої реальності навчального призначення	25
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТОК.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Актуальність теми. Теперішня доступність використання комп'ютерних технологій призвела до їх широкого застосування в різних сферах суспільного життя. В сьгоднішніх складних умовах використання таких технологій взагалі стає єдиною умовою функціонування певних видів суспільної діяльності. І однією з таких став освітній процес.

Навіть в умовах нормальної роботи системи освіти спостерігався високий рівень зацікавленості здобувачів освіти саме до імерсійних технологій — повного або часткового занурення до віртуального світу, який є схожим на справжній, навколишній світ.

До таких технологій входять:

- *RR (real reality) — це об'єктивна реальність, яка не потребує жодних технологій, ми в ній знаходимося, ми її сприймаємо органами почуттів, вона не потребує жодного технічного спорядження чи додаткових пристроїв, чи програмного забезпечення.*
- *AR (augmented reality) — це доповнена реальність, дозволяє додавати в реальну дійсність так звані елементи віртуальної, змодельованої реальності, а саме об'єкти поведінку яких можна програмувати*
- *VR (virtual reality) — віртуальна реальність, вона є повністю змодельована по шаблону дійсності з використанням найсучасніших, технологій. Це може бути 3D або 360 сцени (прокрутка зображень на 360 градусів), звук, деякі тактильні відчуття, і в окремих випадках можуть бути навіть запахи.*
- *XR (extended reality) — це розширена реальність, так загалом називають AR- і VR-технології.*

- *MR (mixed reality) — змішана реальність. Взагалі - це VR з деякими елементами RR. Або AR із можливим застосуванням Hololens.*
- *360-фото, відео — це контент, що складається з однієї 360 градусів — або декількох зшитих фото та відеозаписів. Поширені також 360 градусів -трансляції.*

Технології такого роду вже значною мірою впливають на деякі сфери освітнього процесу, а згодом можуть частково, чи в деяких обставинах повністю замінити звичні нам методи навчання, адже вони надають змогу глибоко зрозуміти предмет, розглянути об'єкт дослідження зсередини, детально розглядаючи кожную дрібну деталь його будови і її вплив на систему вцілому.

Поширеним представником таких технологій який і виступив предметом проведеного дослідження є доповнена реальність. Доповнена реальність AR (augmented reality, також відома як mixed reality) – це технологія, яка доповнює реальний світ, накладаючи інформацію у вигляді програмно керованих віртуальних об'єктів в режимі реального часу. Саме взаємодія з такими об'єктами та їх властивостями допомагає значною мірою поліпшити сприйняття інформації і отримати додаткові відомості про досліджуваний об'єкт та його вплив на оточуючі елементи реального світу.

«Додатки з доповненою реальністю створюються за допомогою платформ, які дозволяють розробляти власні AR додатки з нуля або інтегрувати AR-технології в уже готові програми [1]».

«До технічного забезпечення для роботи з доповненою реальністю відносяться смартфони, планшети, персональні комп'ютери (ПК) і розумні окуляри (Head mounted displays - HMD). Вони оснащені цифровими камерами, GPS, акселерометром, магнітометрами, гіроскопами, які і є пристроями відстеження [2]». Саме дані отримані з таких пристроїв є

основою з якою взаємодіють віртуальні елементи і від отриманих даних, залежить результат роботи програми за технологією AR.

«Сьогодні AR – це доволі популярна технологія, що має широкі бізнесові, розважальні та освітні застосування [3, 6]». Українські дослідники М.П. Шишкіна, С.О. Семериков, В.В. Осадчий, К.П. Осадча, О.Ю. Буров, С.Х. Литвинова, А.М. Стрюк та інші розглядають можливість впровадження AR в освіту, а саме до вивчення природничих наук і застосування AR в професійній підготовці а також перепідготовці [24, 25]

При цьому, українські вчені І.С. Мінтій та В.М. Соловйов наголошують, що « ... в Україні технологія доповненої реальності ще не набула широкого застосування в освітньому просторі підготовки майбутніх учителів, незважаючи на виявлений її значний потенціал, наприклад для проведення лабораторних занять з природничо-математичних дисциплін у середній та вищій школі [22]». Дослідження показали що така необхідність має місце і зумовлена тим, що освітні заклади через такі складні обставини як недавня пандемія COVID-19, а також теперішні активні військові дії не завжди мають можливість в повному обсязі наочно продемонструвати всі досліди передбачені відповідною навчальною програмою та описані в підручнику. Крім зазначених причин пов'язано це може бути також і з відсутністю потрібного обладнання, брак часу відведеного на практичні заняття, тощо.

Обов'язково слід зазначити, що на відміну від реальних, досліди які проводяться в додатку не потребують жодного дороговартісного та іноді небезпечного обладнання, крім підручника і смартфона (або планшета). Також варто зазначити, що експерименти проведені таким способом зайвий раз не наражають учнів на небезпеку пов'язану з використання відкритого полум'я, електричного струму, тощо.

Окремо слід зазначити, що використовуючи зазначені вище технології учні можуть проводити досліди за темою навіть вдома. Таким чином здобувачі освіти мають можливість поглиблювати своє розуміння матеріалу викладеного в підручнику, а також за рахунок доступної необмеженої кількості проведення таких експериментів можуть в повному обсязі, побачити всі тонкощі роботи фізичних законів і як вони впливають на об'єкти і явища, що нас оточують.

Мета роботи: спроектувати, змодельовати і власне розробити програмне забезпечення з використанням технології доповненої реальності для застосування в освітньому процесі. А саме «оживити» 2D зображення дослідів з підручника фізики за восьмий клас за допомогою накладання керованих 3D-об'єктів доступних до взаємодії.

Об'єкт дослідження: програмне забезпечення навчального призначення в закладах освіти.

Предмет дослідження: використання сучасних технологій та методів доповненої реальності в програмному забезпеченні навчального призначення спрямованих на вивчення фізичних законів.

Методи дослідження:

1. Порівняння – нами було порівняно різні підходи до моделювання та проектування системи для використання доповненої та віртуальної реальності в освітньому процесі.

2. Експеримент: перед тим, як почати проектувати та розробляти 3D об'єкти для системи доповненої та віртуальної реальності, було проведено ряд експериментів, що підтвердилися законами фізики, на основі яких і будувалися в майбутньому об'єкти та моделі

3. Фізичне моделювання (математичні моделі фізичних систем і процесів): нами досліджувалися моделі, які мали подібні аналоги в реальному житті та які можна було перевірити експериментально.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці конкретної моделі програмних модулів навчального призначення з використанням технологій доповненої реальності, та чіткого сценарію розробки програмних продуктів такого роду.

Практичне значення одержаних результатів: апробація у навчальному процесі розроблених програмних модулів з використанням технологій AR довела їх ефективність, яка підтверджена у відгуках вчителів і учнів загальноосвітніх закладів. Крім того змодельований та розроблений в процесі дослідження програмний продукт дозволяє проводити такі лабораторні роботи за обома розділами фізики, вивчення яких передбачене навчальною програмою восьмого класу.

Завдання дослідження:

- Дослідити літературні джерела на предмет створення та використання існуючих програмних засобів навчального призначення в освітньому процесі.
- Розглянути та проаналізувати існуючі програмні реалізації додатків навчально призначення з використанням доповненої реальності.
- Дослідити можливості та доцільність використання AR технологій у навчально-виховному процесі.
- Набути умінь програмування в середовищі Unity 3D.
- Спроекувати програмні модулі з використанням доповненої реальності.
- Спроекувати 3D об'єкти доповненої реальності навчального призначення.

- Створити програмне забезпечення для візуалізації фізичних процесів в підручнику з фізики за навчальною програмою восьмого класу.

Апробація. Результати дослідження апробовано на Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт у галузі «Інженерія програмного забезпечення».

РОЗДІЛ 1

3D-ОБ'ЄКТИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Використання технологій доповненої реальності у програмному забезпеченні навчального призначення

Концепція доповненої та віртуальної реальності активно розвивається з 1960-х років, і технології VR та AR вважаються корисними, потужними і дуже перспективними інструментами для створення і вдосконалення програмного забезпечення з метою його подальшого використання у навчальному процесі.

Незважаючи на схожість в певних моментах, ці технології суттєво відрізняються. Така різниця стає чіткою та суттєвою якщо розглянути, порівняти та проаналізувати визначення цих понять.

«Віртуальна реальність – середовище, у якому за допомогою комп'ютера моделюється фізична присутність людини у певному місці (копії) реального або уявного світу [5, 10]».

Доповнена реальність – це середовище, створене шляхом об'єднання об'єктів реального світу та таких, які самі та їх властивості згенеровані комп'ютером.

На відміну від віртуальної, доповнена реальність не замінює реальне середовище штучним. Застосування AR технології надає можливість об'єднання реальних та віртуальних засобів навчання за допомогою мобільних пристроїв, що в свою чергу реалізує концепцію мобільного навчання: незалежно від часу та місця.

Першу в своєму роді «лабораторію штучної реальності» Videoplase [7, с. 125] створив М. Крюгер (Myron W. Krueger) ще у 1975 році. Головна ідея його проривного для свого часу проекту, розробка якого почалася у 1969 році – створення віртуальної реальності, яка активно взаємодіяла з користувачами

і реагувала на їхні рухи та дії, при цьому не обтяжуючи їх використанням спеціальних окулярів, рукавичок або інших засобів.

Головними засобами в такій лабораторії слугували: проектори, апаратні засоби спеціального призначення, відеокамери та екранні силуети користувачів які були потрібні для їх подання у створеному віртуальному середовищі. Учасники експерименту які перебували в окремих кімнатах лабораторії могли взаємодіяти між собою в режимі реального часу за допомогою цієї технології. Переміщення 15 записаних на відео користувачів, представлялись силуетами у розробленому та адаптованому для відповідних потреб середовищі віртуальної реальності .

Щодо використання середовищ такого роду у навчанні учень М. Крюгер зазначив наступне: «Адаптивна середовище має величезний потенціал для освіти. Вся наша система освіти будується на припущенні, що тридцять дітей будуть сидіти в одній кімнаті по шість годин на день і вчитися. Це явище ніколи не спостерігалось в природі, і це є виключенням у класі, де вчителі стикаються з природним бажанням дітей бути активними. Адаптивне середовища пропонує навчальну ситуацію, в якій заохочується фізична активність. ... Оскільки середовище може визначати цікаві відносини і змінювати їх складними способами, повинна бути можливість створювати взаємодії, які збагачують концептуальний досвід дитини. Це дало б дитині більш потужні інтелектуальні структури для організації конкретної інформації, яку вона отримає пізніше. Метою було б набуття дитиною досвіду, а не годування її фактами» [8, с. 432].

Проте сильно обмежена мобільність та висока вартість технологій доповненої та віртуальної реальності, пов'язані з тогочасним рівнем розвитку апаратної складової, стали основною перепорою на шляху до їх поширення та застосування в звичних нам сферах суспільного життя таких як процес здобування освіти. Більше ніж 30 років всі дослідження у цій галузі залишались виключно справою спеціалізованих лабораторій.

Етапним у розвитку технологій віртуальної та доповненої реальності став ARQuake Б. Томаса (Bruce H. Thomas) (2000 рік) – перший проект, що «вийшов на вулицю» [9]: з появою по-справжньому компактних пристроїв у 1990-х роках нарешті з'явилися ґрунтовні апаратні передумови для застосування технології VR та AR поза межами спеціалізованих наукових лабораторій – у новітньому та передовому на той час просторі Інтернет-користувача.

З того часу за допомогою використання технології доповненої реальності було створено чимало зразків програмного забезпечення, призначеного для вивчення різних дисциплін (фундаментальних, гуманітарних та фахових). За допомогою програмних засобів такого роду надавались як ніколи розширені та важливі відомості про досліджувані об'єкти та їхні характеристики, які зазвичай залишались недоступними до вивчення і аналізу у звичних експериментах і досліджах. У ряді проектів, які були реалізовані в Європі та США, вже саме мобільні пристрої було використано з метою візуального представлення розроблених комп'ютерними засобами віртуальних об'єктів за допомогою AR технології.

Дуже показовим став приклад використання такого роду технології, за допомогою мобільних програм майбутніми інженерами, що дало змогу побачити, яким чином розташовано опори мостів під час їх візуального огляду під різними кутами. Детальний аналіз наживо певної необхідної кількості мостів однозначно зайняв би значну кількість часу і потребував би використання чималої кількості ресурсів, для виїзду на об'єкт, безпосередньо огляду конструкції з різних боків, тощо. В свою чергу сухий аналіз креслень ніколи не дасть такого результату як аналіз конструкції наживо.

М. Т. Рестіво та іншими авторами [11, 12] було розглянуто можливості та доцільність застосування технології доповненої реальності у навчальному процесі, а саме в розділі «Електрика» курсу фізики.

Науковці наголошують, на тому, що, незважаючи на докладання значних зусиль у навчанні, студенти рідше, ніж це було б необхідно, мають

змогу особисто виконати експеримент в спеціальній аудиторії через брак матеріалів або відведеного за планом для таких занять часу. Крім того було однозначно вказано на те, що виконання такого роду експериментальних робіт самостійно у позаурочний час несе в собі надто високі додаткові ризики, особливо це стосується роботи з небезпечними матеріалами та складними приладами. А сучасні технології такі як доповнена реальність в свою чергу виступають в ролі іноді єдиного безпечного способу виконання експериментів, як самостійно, так і під безпосереднім керівництвом учителя.

Експерименти в режимі реального часу з використанням засобів доповненої реальності та відповідних пристроїв як зі звичайним так і з сенсорним керуванням надають користувачам можливість проводити реальні дослідження: спостерігати, аналізувати й описувати роботу різного роду систем і зміни їхніх параметрів кожного елементу онлайн, при цьому надаючи можливість повної або часткової заміни матеріальних ресурсів та експериментального обладнання відповідно розробленими об'єктами доповненої реальності.

Вище зазначеними ученими встановлено, що використання технології доповненої реальності як на теоретичних, так і на практичних та лабораторних заняттях значною мірою полегшує розуміння здобувачами освіти теоретичних правил, схем, інструкцій з експлуатації, методичних рекомендацій та іншої документації.

Викладачі, які використовують технологію доповненої реальності для проведення лабораторних робіт з фізики, можуть краще і доступніше пояснити здобувачам освіти внутрішню будову елементів приладів та установок, що забезпечує безперечно високу ефективність підготовки майбутніх фахівців свої галузі.

Таким чином, такі складові навчального процесу як методичні рекомендації (Рисунок 1.1) та лабораторні установки (Рисунок 1.2) можуть відігравати роль середовища для роботи програмного забезпечення з використанням технологій з доповненою реальністю.

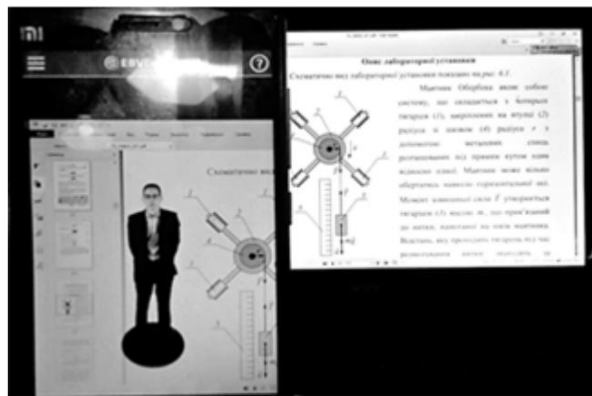


Рисунок 1.1 - Використання технології AR у розробці методичних рекомендацій до проведення лабораторних робіт з фізики (за Ю. В. Єчкало та ін.) [13]

Одним з варіантів залучення технологій AR до проведення лабораторних робіт з фізики стало накладання на текст методичних рекомендацій до виконання завдання роботи 3D об'єкта вчителя, який надає докладні пояснення щодо ходу лабораторної роботи.

Лабораторні стенди або різного роду вимірювальні прилади і установки можуть бути використані у якості маркерів до програмного забезпечення, зокрема для доповнення їх інтерактивними інструкціями з експлуатації. Доповнена реальність виступає сучасним та дієвим вирішенням проблеми зацікавленості здобувачів освіти до науково-дослідницької діяльності в цілому та мотивує їх до проведення експериментів та розуміння процесів зображуваних ними.

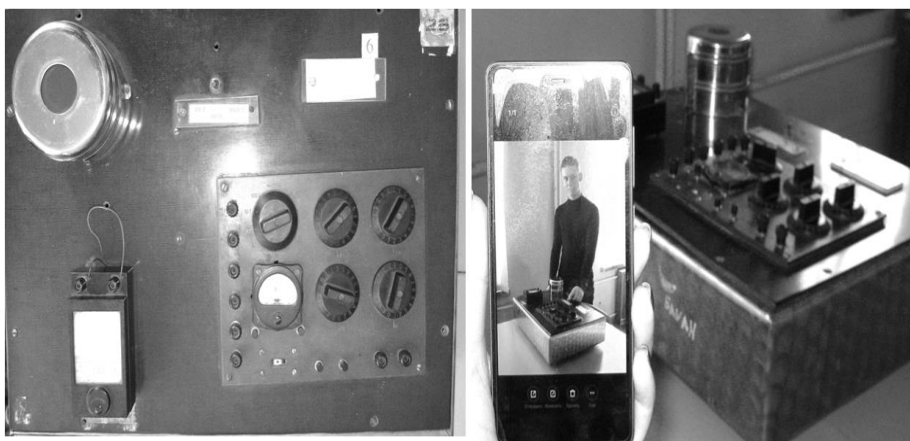


Рисунок 1.2 - Використання доповненої реальності на лабораторних роботах з фізики (за Ю. В. Єчкало та ін. [13])

Враховуючи все вищесказане, виходить, що інтерес щодо залучення технологій AR до процесу здобуття освіти в світі існує ще з 70-х років минулого століття, але через значну невідповідність розвитку, доступності та можливостям обчислювальної техніки специфічним вимогам користувачів достатньо довго не був задоволений.

Тепер слід розглянути засоби для створення додатків з використанням доповненої реальності, які будуть доступними та будуть придатними безпосередньо для розробки програмного проекту навчального призначення.

На даний момент для розробки програмного забезпечення з використанням технологій VR та AR найрозповсюдженішими рішеннями виступають ігрові рушії Unity та Unreal Engine.

Думки фахівців в сфері розробки програмних проєктів співпадають у тому, що дані програми за своїми будовою та функціоналом доволі близькі. Обидва варіанти пропонують широкі можливості використання бібліотек які значною мірою розширюють можливості використання технологій AR.

Проте рушії Unity 3D користуючись широкою популярністю серед невеликих компаній розробників ігор, пропонує більше докладної та перекладеної різними мовами документації, інформації на форумах та спільнотах розробників.

Крім того Unity випускає чимало корисних та багатофункціональних інструментів для роботи з 2D-об'єктами, які в свою чергу теж безперечно потрібні для розробки додатку. Адже як буде сказано нижче основою або маркером для роботи програмного модуля слугуватиме саме звичайне 2D-зображення, також використання «плоских» об'єктів може певною мірою оптимізувати процес розробки модуля там де це можливо зробити.

1.2. Технологія Unity 3D

Таким чином, для розробки вищеописаних програмних модулів навчального призначення з використанням технології AR було обрано рушій Unity [14, 15], тому що дана технологія має наступні переваги:

- Дозволяє створювати тривимірні додатки.
- Забезпечує надійний захист від зовнішнього втручання.
- Використовує досить поширену мову програмування C#.
- Має зрозумілу документацію та підтримку від товариства розробників.
- Є сучасною технологією для створення VR та AR додатків.
- Дозволяє з однаково високою ефективністю працювати як з 3D так і з 2D-об'єктами.

Для відображення віртуальних фізичних моделей, процесів і явищ буде використано візуальне представлення у вигляді 3D графіки з елементами 2D (Рисунок 1.3).

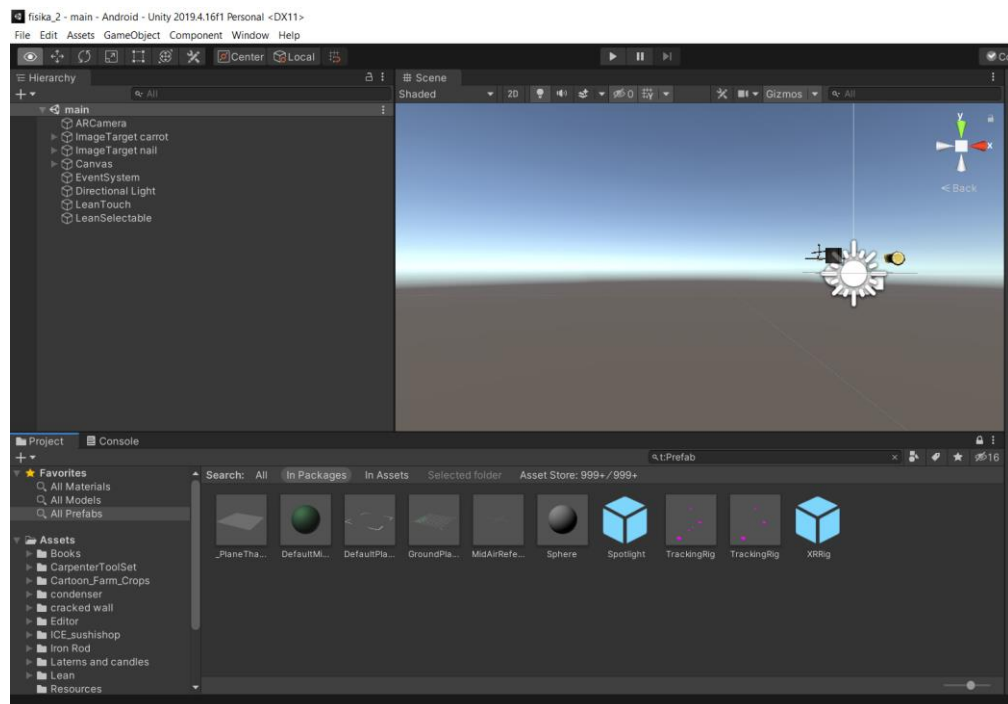


Рисунок 1.3 - Головне меню рушія Unity3D

Технологічною основою уявлення є графічний інструмент для розробки тривимірних додатків Unity3D. Unity3D - це багатоплатформовий засіб (рушій) для розробки інтерактивних додатків з графікою, що генерується та відтворюється в реальному часі. Завдяки широкому набору можливостей та зручному інтерфейсу який за потреби можна відносно швидко освоїти, цей графічний рушій дуже поширений серед розробників тривимірних великомасштабних ігор.

Він має власний редактор об'єктів, розробка і керування об'єктами програмних модулів ведеться за допомогою мови C#, що дозволяє створювати додатки, які ілюструють складні фізичні процеси та безпосередньо керувати елементами, що беруть в них участь. Також цьому сприяє високий рівень абстракції програмного інтерфейсу. Процес розробки 3-мірних середовищ об'єктно-орієнтований.

Таким чином побудова середовища зводиться до проектування та розробки об'єктів з власною поведінкою та широким набором властивостей і характеристик, зміну яких можна запрограмувати таким чином, щоб на екрані це виглядало максимально реалістично, а також щоб такого роду зміни повністю підпорядковувались фізичним законам.

Моделі об'єктів з якими працює програміст розміщуються на сцені проекту таким чином, щоб можна було з легкістю працювати з ними, а також з цілими системами об'єктів, які мають зручну до налаштування ієрархію і поведінку та відповідні властивості яких так само повністю контролює розробник.

Unity3D підтримує велику кількість апаратних платформ [4]. Початково створений на основі мови C++, що робить рушій порівняно швидким і продуктивним. Згодом допрацьований розробниками функціонал розширив список мов програмування які можуть використовуватись, завдяки чому він задовольняє ряду поставлених до нього вимог, а саме:

- кінцевий програмний модуль є мультимедійним 3D об'єктом, вбудованим в HTML-сторінку;

- кінцевий продукт є об'єктом високого рівня абстракції прототипів об'єктів;
- забезпечується висока якість графічного представлення інформації;
- бібліотека тривимірної має можливість працювати з найбільш сучасними форматами 3D-графіки: *.3ds, *.dae, *.fbx, *.flt;
- підтримка мов високого рівня (C++, C#, Java) для забезпечення ефективного та оптимального процесу розробки з залученням фахівців різних мов і технологій;
- наявність ліцензії для вільного використання в некомерційних цілях;
- наявність редактора як програмної так і графічної розробки об'єктів;
- можливість підключення сторонніх бібліотек об'єктів (бібліотеки для обробки даних, веб-сервіси, драйвери баз даних і т.п.).

Програмна бібліотека мультимедійних 3D-об'єктів уніфікує процес моделювання та розробки програмних модулів, зокрема віртуальних лабораторних робіт.

Крім того програмний засіб Unity3D надає можливість для створення плагіна, готового для конструювання інтерактивних програмних 3D-об'єктів з метою- використання у Web-додатках [17, 19, 20].

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ З ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАКОНІВ

2.1 Моделювання та проєктування 3D-об'єктів з використанням технології доповненої реальності навчального призначення

2.1.1 Постановка задачі

Метою наукової роботи було залучення додатків з доповненою реальністю до *освітнього процесу*, а саме перетворення 2D-зображень лабораторних робіт з підручника фізики в 3D-моделі з можливістю керувати об'єктами.

Практичні досліди — це безперечно дуже важлива частина будь-якої дисципліни, особливо це стосується таких непростих для швидкого розуміння наук як фізика, а особливо деяких її розділів, таких як наприклад електричні та теплові явища.

В таких випадках саме проведення лабораторних робіт дає учням змогу краще засвоїти пройдений лекційний матеріал, глибоко зрозуміти всі тонкощі роботи фізичних законів описаних на лекції та значною мірою заохотити дітей поглиблювати свої знання з кожної пройденної теми.

Саме тому було прийняте рішення розпочати роботу над створенням мобільного додатку який міг би «оживити» досліди, зображені на сторінках шкільного підручника.

Необхідність створення такого продукту зумовлена тим фактом, що заклади освіти часом не мають можливість виконати аудиторно всі передбачені навчальною програмою досліди, які описані в підручнику.

Особливо гостро це питання постало під час недавньої пандемії та початку військових дій на території України. Крім того серед обставин які унеможливають проведення лабораторних робіт в класі можуть бути: відсутність потрібного обладнання, брак часу відведеного на практичні заняття, тощо.

На відміну від реальних, досліди проведені в додатку не потребують жодного додаткового обладнання крім підручника і смартфона (або планшета), крім того такий спосіб проведення лабораторних робіт однозначно не наражає учнів на небезпеку котра може бути пов'язана з використанням відкритого полум'я, електричного струму, складних та рухомих механічних приладів тощо, а ще учні мають змогу проводити подібні досліди навіть самостійно вдома, тим самим значно поглиблюючи своє розуміння матеріалу викладеного в підручнику за відповідною темою.

З огляду на те, що вивчення фундаментальних законів фізики починається з 8-го класу, було вирішено для проведення дослідження з обраної теми використати підручник з фізики для 8-го класу редакції В.Г. Бар'яхтара.

Навчальна програма якій відповідає вищезазначений підручник передбачає вивчення двох основних розділів, а саме «Теплові явища» та «Електричні явища».

Більше дослідів в даному випадку було реалізовано саме з теми: «Електричні явища», через більшу наочність кінцевих дослідів з доповненою реальністю. Крім того саме експерименти з цієї теми передбачають контакт здобувачів освіти з відкритим полум'ям, що значно підвищує ризик отримання травм. Визначившись з тематикою було розпочато моделювання майбутнього AR додатку.

2.1.2 Моделювання додатку з використанням технології доповненої реальності для вивчення фізичних законів

Безпосередньо перед розробкою моделі програмного модулю було визначено перелік необхідних засобів для проведення досліду із залученням технології доповненої реальності. Як зазначалось вище проведення подібного роду експерименту передбачає наявність пристрою з встановленим додатком та маркера з яким і буде взаємодіяти розроблений програмний засіб, в даному випадку подібним маркером слугуватиме сторінка відповідного

підручника із зображенням, що ілюструє проведення потрібного експерименту (Рисунок 2.1).

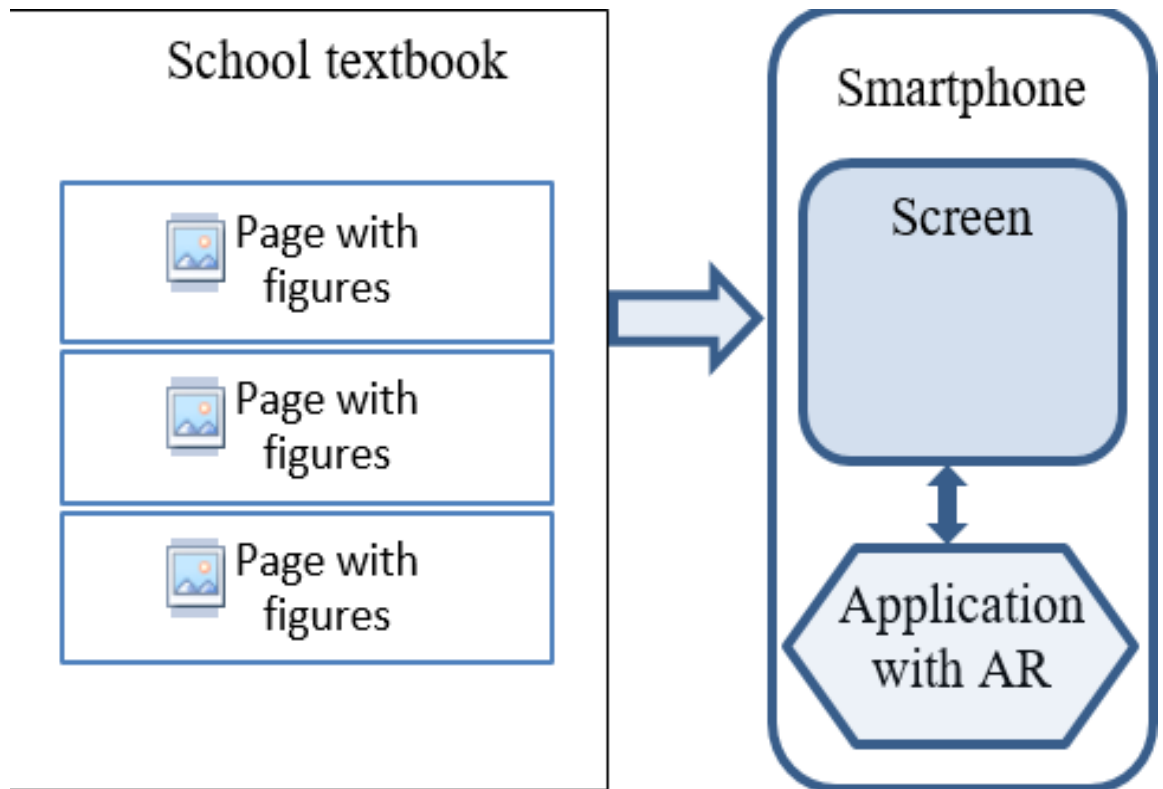


Рисунок 2.1 - Модель програмного модуля навчального призначення з використанням AR

Наступним кроком після побудови першої, узагальненої моделі такої системи (рис 2.1), є розробка безпосередньо проєктування самого програмного модуля.

Першочерговим завданням стає розробка повної, докладної моделі додатка (Рисунок 2.2), яка зобразить всі елементи, необхідні безпосередньо для коректного функціонування програми, такі як: спеціалізовані для конкретних задач бібліотеки та набори засобів розробки, повний перелік всіх необхідних елементів, що беруть участь у функціонуванні додатка таких як зображення-маркери, безпосередньо 3D-об'єкти які будуть накладатись на картинку експерименту та інші.

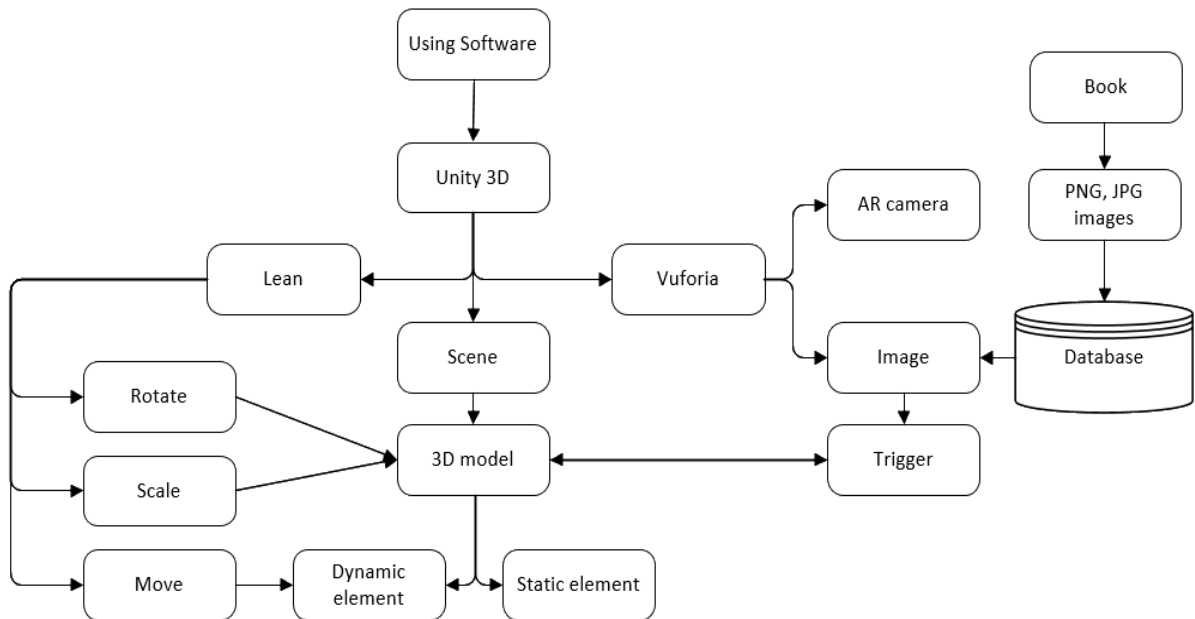


Рисунок 2.2 – Повна модель програмного модуля навчальної системи з використанням AR

Для розробки з використанням засобів доповненої реальності до багатоплатформового рушія Unity необхідно підключити деякі SDK [16, 21] (від англ. Software development kit – набір засобів розробки), провідними з яких для вищезазначених завдань підійдуть Vuforia, Wikitude, ARKit, ARCore та ін.

Значною перевагою таких засобів є те, що вони безкоштовні для некомерційного використання.

Через свою доступність у завантаженні та зручність у встановленні і поєднанні безпосередньо з рушієм Unity 3D у вигляді модулю, був обраний SDK Vuforia [18, 23].

Крім того, важливою складовою системи є така бібліотека засобів як Lean. Саме її використання робить можливим функціонування на сучасному мобільному пристрої кожен з яких зараз керується за допомогою сенсору, адже ця бібліотека безпосередньо відповідає за керування розробленими у Unity 3D об'єктами за допомогою сенсорного дисплею смартфона або планшета.

Використання зазначених наборів засобів або їх аналогів є необхідною складовою розробки програмного модуля який відповідав би вказаним вимогам.

Наступним кроком було створення Class діаграми майбутнього додатку (Рисунок 2.3). Дана схема чітко показує взаємодію вже існуючих реальних об'єктів, в нашому випадку підручника з відповідними ілюстраціями та тих котрі необхідно створити та функціонал яких описати безпосередньо в середовищі Unity за допомогою коду мовою програмування C#, а саме віртуальних «сцен» дослідів які поєднують всі створені 3D-об'єкти та які з'являтимуться на екрані пристрою при виконанні необхідних умов.

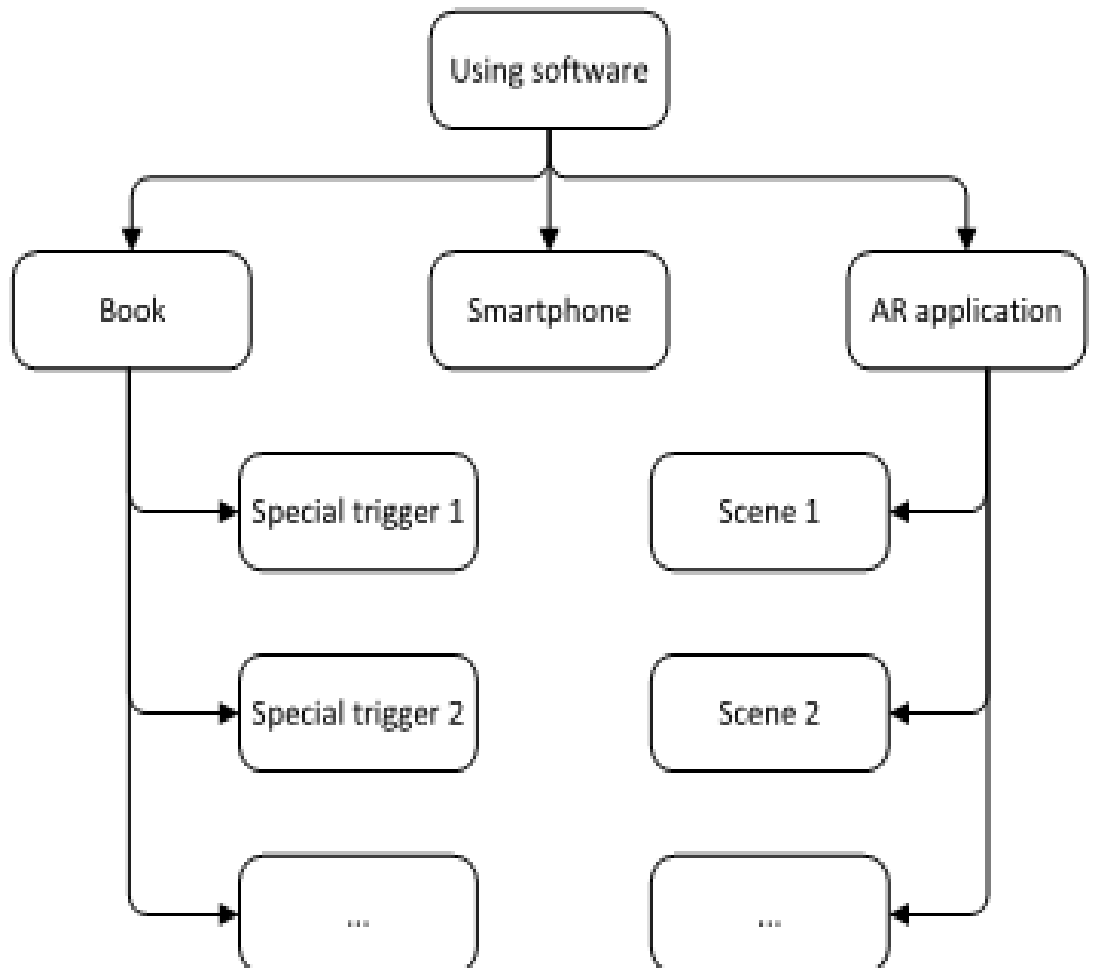


Рисунок 2.3 - Class діаграма для додатку AR

Наступним кроком проєктування є визначення мінімально необхідного функціоналу додатку, який був би зрозумілим і зручним для здобувача освіти середньої школи. Крім того важливо буде розробити такий програмний інтерфейс, який був би інтуїтивно зрозумілим для кожного учня обраної вікової групи. Набір таких функцій наочно зображено за допомогою приведеної нижче блок-схеми (Рисунок 2.4)

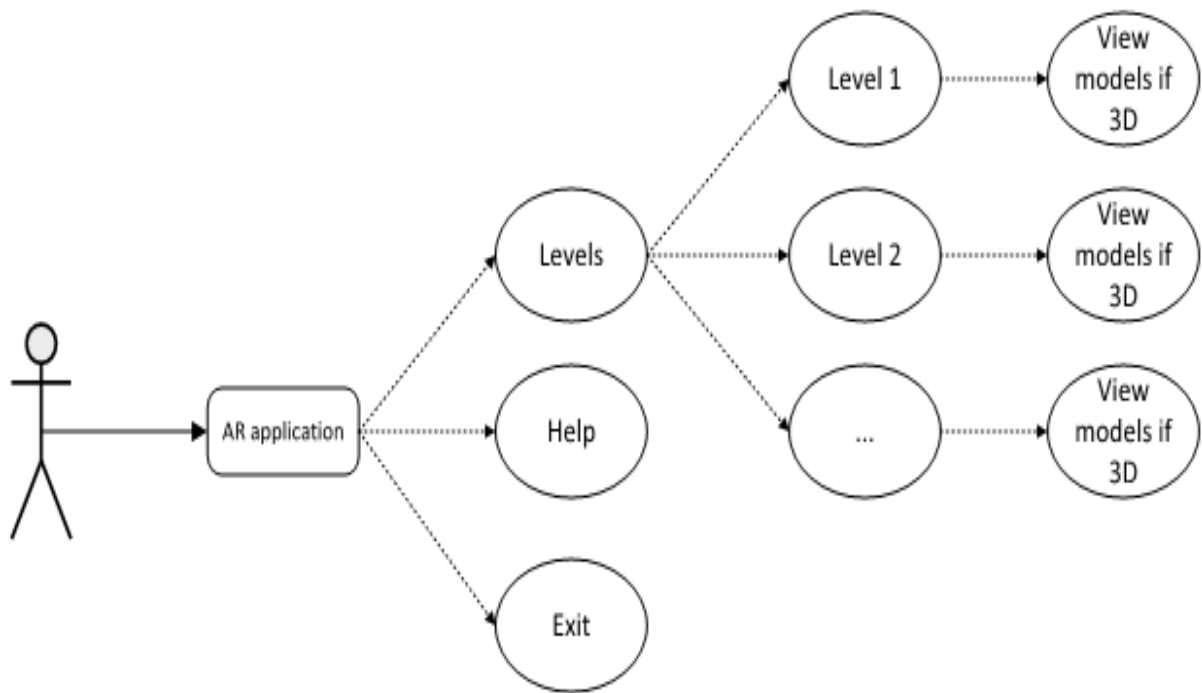


Рисунок 2.4 - Use case діаграма для додатку AR

Завершальним етапом проєктування стало створення ACTIVITY діаграми для розроблюваного додатку, яка наочно ілюструє ймовірні сценарії під час користування програмою (Рисунок 2.5). На даному етапі таких варіантів передбачено 3:

- безпосередньо перехід до виконання завдань;
- виклик меню допомоги;
- вихід з додатку.

В свою чергу перехід до вікна виконання завдань повинен направляти здобувача до наступного вікна, а саме вибору необхідного завдання.

Виходячи із вищевказаних вимог до розроблюваного програмного модулю необхідно можна вважати можливість повторення кожного досліджу

стільки разів, скільки потрібно здобувачу освіти для повного розуміння теми, а саме, всі тонкощі функціонування обраного фізичного закону та його вплив на кожен елемент системи котра розглядається в експерименті на практиці.

В майбутньому планується також можливість виклику докладної довідки та за необхідності інтерактивної підказки для кожної роботи. Крім того абсолютно доцільним є виведення на екран невеликого блоку теоретичного матеріалу, котрий включатиме формулювання основного правила чи закону, а також формул для обчислення числових вимірів характеристик об'єктів досліджуваної системи, для кращого їх запам'ятовування з метою подальшого використання в процесі навчання.

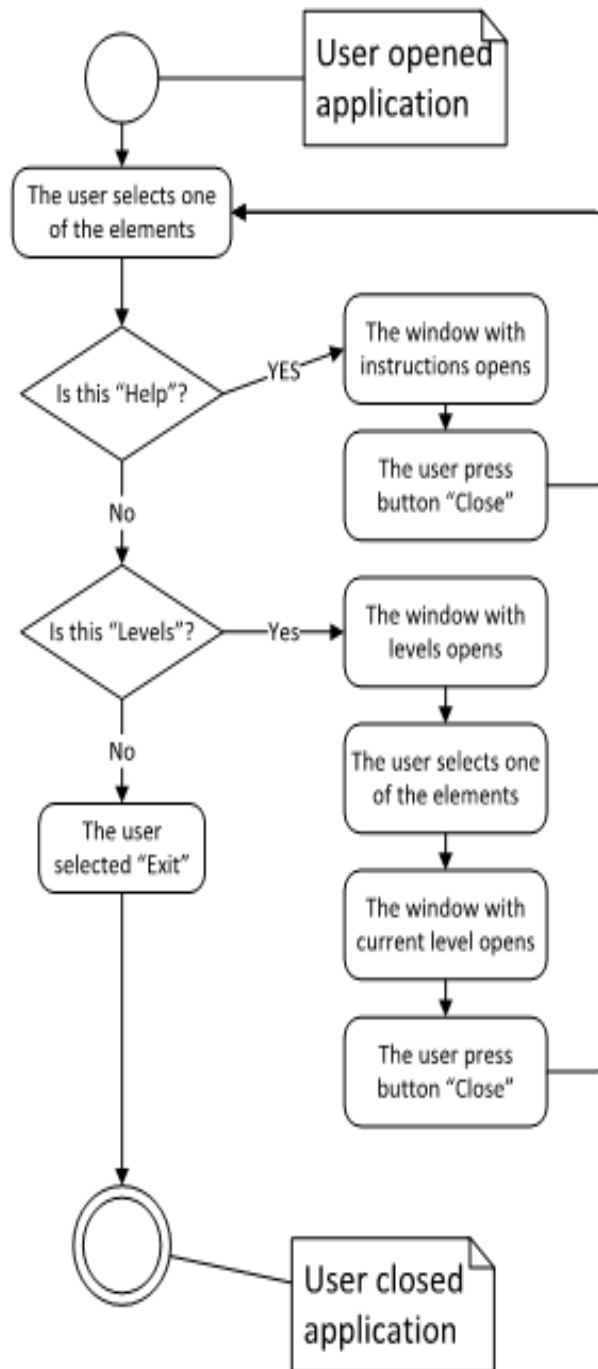


Рисунок 2.5 - ACTIVITY діаграма для додатку AR

2.2 Реалізація програмних модулів доповненої реальності навчального призначення

2.2.1 Реалізація дослідів який ілюструє високу теплопровідність металів

Розробка та зовнішній вигляд 3D-об'єктів напряму залежать від обраних зображень- тригерів. Як зазначалось вище, за основу було взято підручник 8

класу з фізики В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, О. О. Кірюхіна. Нами було обрано наступні теми:

- Два досліди які ілюструють різну теплопровідність матеріалів
- Залежність розмірів фізичних тіл від температури
- Дослід який ілюструє роботу закону Кулона

Для розробки першим був обраний експеримент з дослідження теплопровідності металів, основне завдання якого по суті зводиться до закріплення на металевому стержні, який в свою чергу розташований на звичайному металевому штативі, кількох цвяхів за допомогою воску.

Далі при починається нагрівання свічкою вільного краю стержня, і хоча цвяхи закріплені на певній відстані від нього, через високу теплопровідність металу з якого виготовлено стержень, віск доволі швидко почине плавитись і цвяхи почнуть падати один за одним, починаючи з найближчого до джерела полум'я (Рисунок 2.6), таким чином демонструючи користувачу високу теплопровідність такого матеріалу як метал.

Саме з детального опису необхідного досліду стає зрозумілим повний перелік 3D-об'єктів, які і будуть представляти доповнену реальність, тобто це ті елементи якими буде доповнено дійсність, якими можна керувати, властивості яких стають доступними до вивчення за умови їх реалізації у віртуальному вигляді.

Основний підхід до реалізації полягає в тому, що як зазначено вище визначається віртуальна частина яка доповнює реальність. Потім відбувається дискретизація, виокремлення кожного об'єкту який необхідно розробити. Необхідною частиною роботи також є дослідження теми з курсу фізики, що дає змогу точно описати поведінку елементів системи.

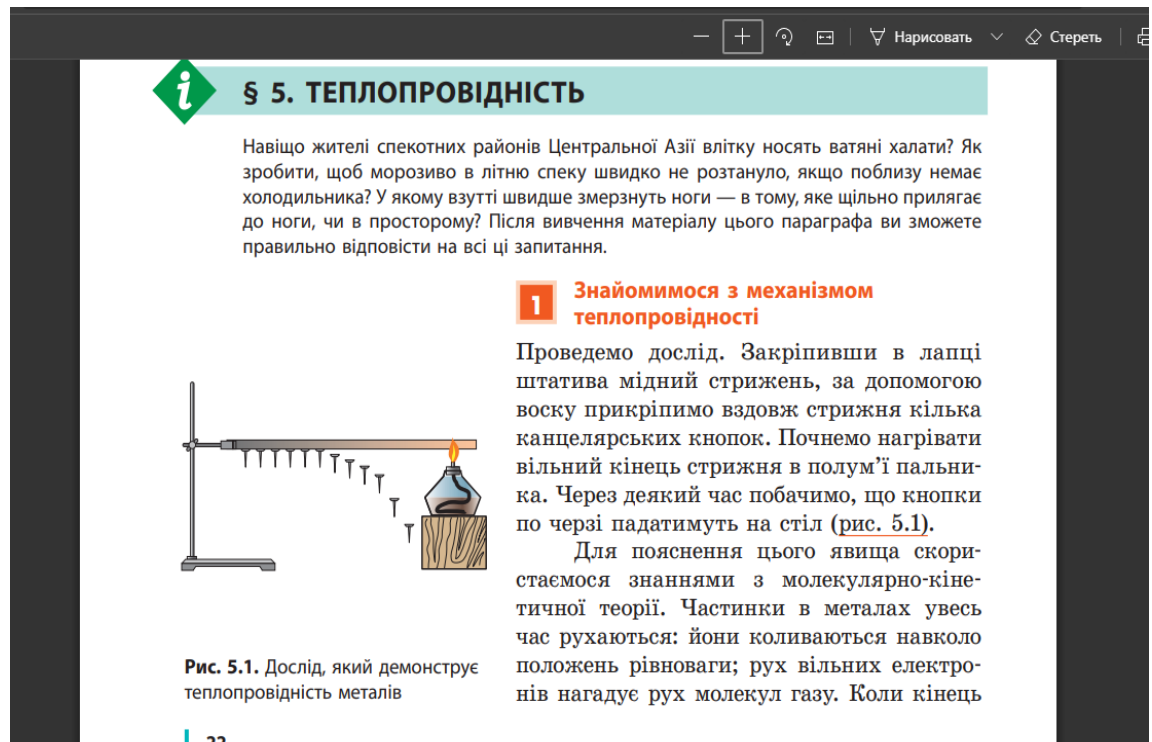


Рисунок 2.6 - Сторінка обраного підручника з ілюстрацією експерименту в електронному форматі

Отже, нам знадобляться такі 3D-об'єкти доповненої реальності:

- штатив
- металевий стержень;
- цвяхи;
- свічка;
- фон на якому було б добре видно інші об'єкти;
- зображення-тригер.

Готові тривимірні зображення, 3D-об'єктів були завантажені з Asset Store, магазину тривимірних моделей, в якому є як платні моделі так і безкоштовні доступні до завантаження.

Саме готові з візуальної точки зору моделі дають змогу зосередитись на програмуванні поведінки елементів і реалістичної роботи системи в цілому, а не розробці в графічних редакторах моделей вищезазначених об'єктів. Так як безпосередньо створення таких моделей не є завданням кваліфікаційної роботи і вимагає додаткових витрат часу і ресурсів.

Хоча у випадку переходу розробки на новий рівень, а саме прямого замовлення такого роду програмного продукту певним навчальним закладом або міністерством освіти, звичайно було б доцільно залучити фахівців для створення тривимірних моделей які б повністю відповідали вимогам системи і найкращим чином сприймалися користувачами.

Отже, була підібрана найбільш підходяща 3D-модель штатива. Наступним кроком стало додавання до проєкта моделі стержня який жорстко кріпиться до штатива, реалізується це шляхом перетворення об'єкта стержня в залежний від об'єкта штатива об'єкт.

Таким чином тепер при зміні положення або масштабу об'єкта вищого за ієрархією, відповідним чином, будуть змінюватись і об'єкти які йому підпорядковуються.

Що стосується цвяхів, то їх додавання до системи полягає в завантаженні моделі одного цвяха і копіювання її необхідну кількість разів. За принципами об'єктно орієнтованого програмування яким підпорядковується система розробки в Unity, всі новостворені об'єкти наслідують параметри і методи батьківського об'єкта.

Тож розроблена функція яка буде керувати падінням, а по суті зміною положення об'єкта «цвях» на сцені проєкта, може управляти кожним об'єктом наслідувачем. Достатньо лише змінити значення деяких параметрів цієї функції.

В свою чергу цвяхи (Рисунок 2.9) були так само як і стержень до штатива були закріплені до стержня, шляхом визначення їх об'єктами за ієрархією класів нижчими від нього.

Таким чином об'єкти «штатив», «стержень» і «цвяхи» стали першою системою об'єктів, на яку користувач не має безпосереднього впливу.

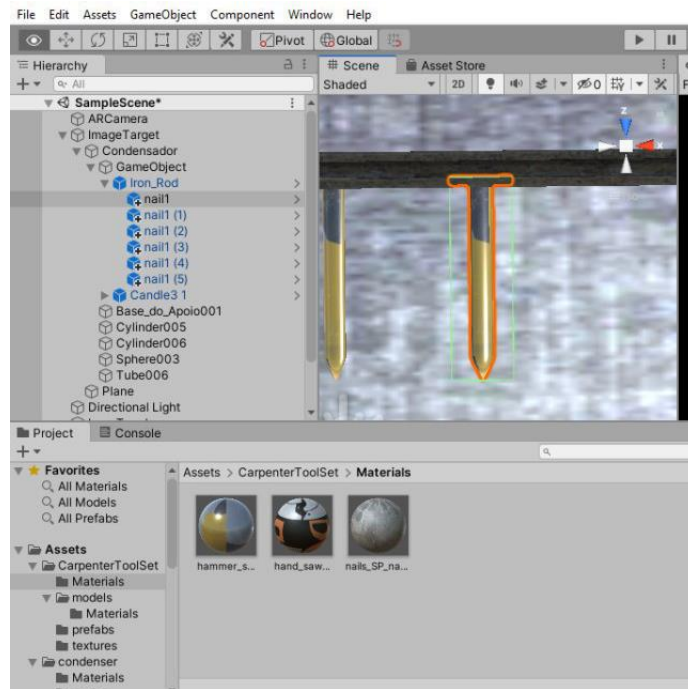


Рисунок 2.9 - Поєднання об'єкта цвях та стержня

Далі необхідним кроком стає розробка другої системи об'єктів якою користувач керує напряму з використанням тач-скріну свого пристрою, що стає можливим за допомогою вище описаної бібліотеки Lean.

Першим об'єктом безпосередньо керованої системи стає 3D об'єкт – свічка (Рисунок 2.8). Її готове тривимірне зображення, як і попередні 3D-малюнки були завантажені з Asset Store.

А от другим об'єктом стає «полум'я», яке хоч і нижче «свічки» за ієрархією класів, все ж має свої властивості, і виконує дуже важливу роль у взаємодії двох описаних систем.

Об'єкту «полум'я» була додана властивість тригера. Тобто тепер як тільки координати точок об'єкта «полум'я» а вони змінюються разом зі зміною положення об'єкта «свічка», хоча б частково перетнуться з координатами об'єкта «стержень» вищеописана нерухома система відреагує так як це передбачить розробник.

Більш детально ця взаємодія розглянута нижче при описанні керування системою за допомогою скриптів. Не дивлячись на те, що дана частина розробки прихована від користувача, вона має провідне значення реалістичної роботи системи.

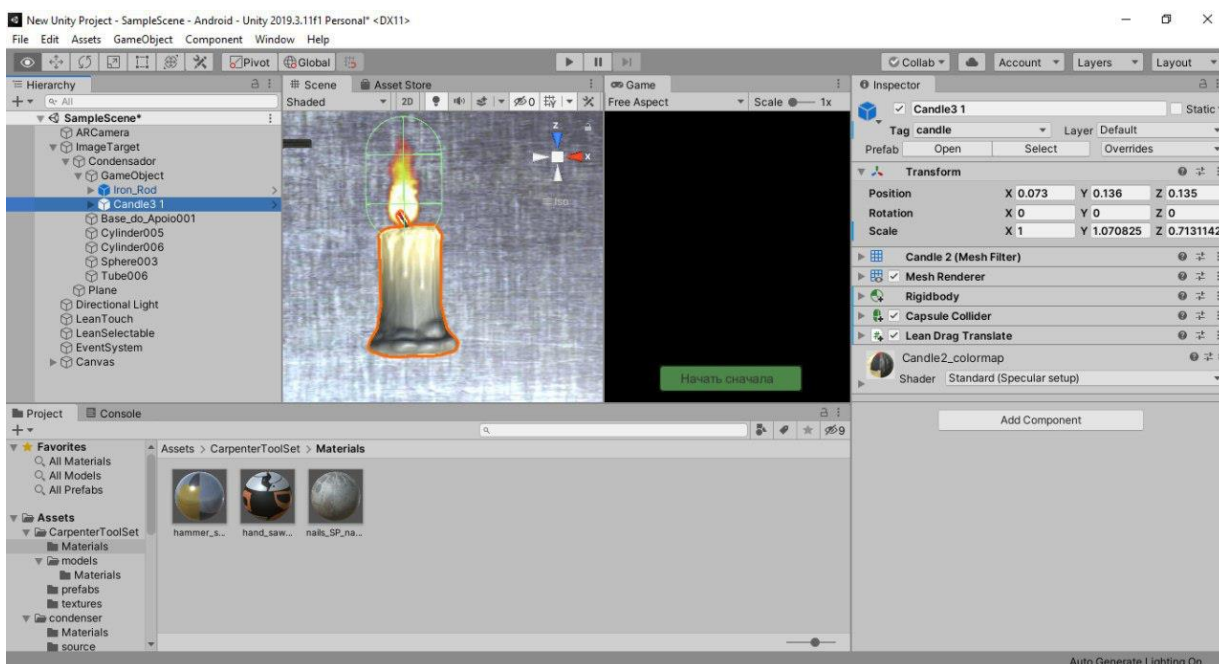


Рисунок 2.8 – Розробка та налаштування 3D-об’єктів «свічка» та «полум’я».

Наступним в списку об’єктів, які вимагають реалізації є зображення-маркер. Тобто це те зображення на появу якого в полі зору камери пристроя очікує і зреагує програма та відобразить на дисплеї вище описану систему об’єктів, таким чином доповнивши дійсність віртуальними керованими об’єктами, що власне і є головним завданням програми.

В якості зображення-тригера використовуємо «вирізану» з підручника ілюстрацію обраного досліду (Рисунок 2.7).

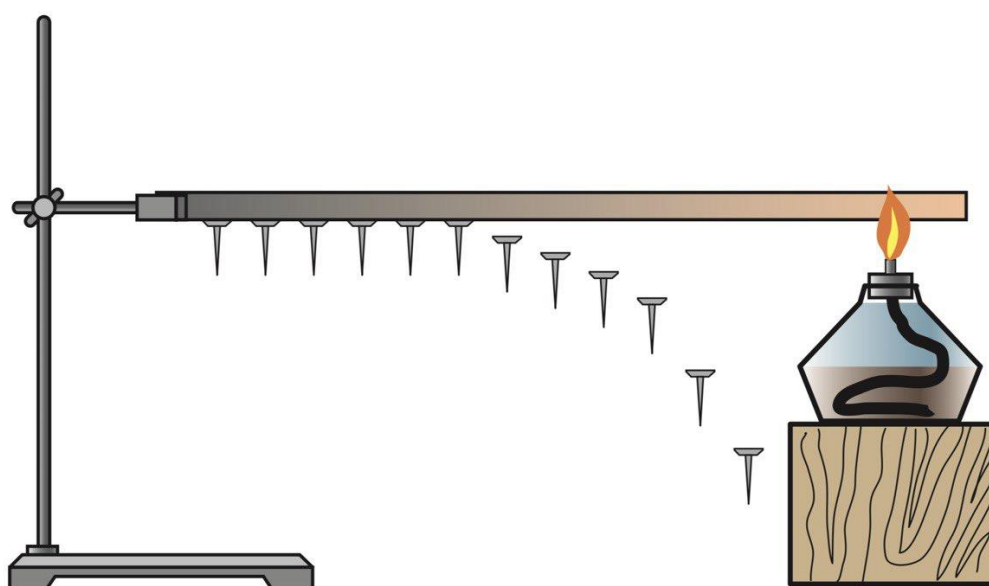


Рисунок 2.7 - Зображення-тригер для першого експерименту

Тепер можна перейти до «невидимої», але не менш необхідної частини програмного модуля, а саме до написання скрипту який і буде керувати в даному випадку падінням цвяхів.

. Керуючий скрипт (Рисунок 2.11) — це окремий файл написаний мовою програмування C#, в якому описано параметри і функції такі як наприклад падіння цвяхів після нагрівання металевого стержня. Початок виконання цього скрипту — це і є реакція системи на «дотик» тригера об'єкта «полум'я» до вільного кінця «стержня».

```

IEnumerator Wait()
{
    int iter=0;
    foreach (GameObject i in listNail)
    {
        yield return new WaitForSeconds(1);
        i.GetComponent<Rigidbody>().isKinematic = true;
        i.transform.localPosition = new Vector3(pos_nail_x[iter], pos_nail_y[iter], pos_nail_z[iter]);
        iter += 1;
    }
}

public void Naildown()
{
    Debug.Log("here");
    StartCoroutine(Wait());
}

private void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.tag == "candle")
    {
        Debug.Log("Hello");
        StartCoroutine(Wait2());
    }
}

```

Рисунок 2.10 – Керуючий скрипт системи

Зважаючи на обґрунтовану вище доцільність використання принципів ООП для роботи з представленими об'єктами, їх було виділено в класи. Як бачимо функція OnTriggerEnter як тільки значення її параметру, а саме поле tag об'єкту Collider (системна назва тригера) стає рівною "candle", запускає функцію Naildown, яка керує «падінням» всіх об'єктів наслідувачів класу Цвях.

Останнім кроком розробки першого досліду стає поєднання всіх створених й запрограмованих об'єктів на сцені проекту в Unity (Рисунок

2.11) таким чином, щоб утворена система наскільки можливо візуально повторювала зображення і гармонійно доповнювала реальність.

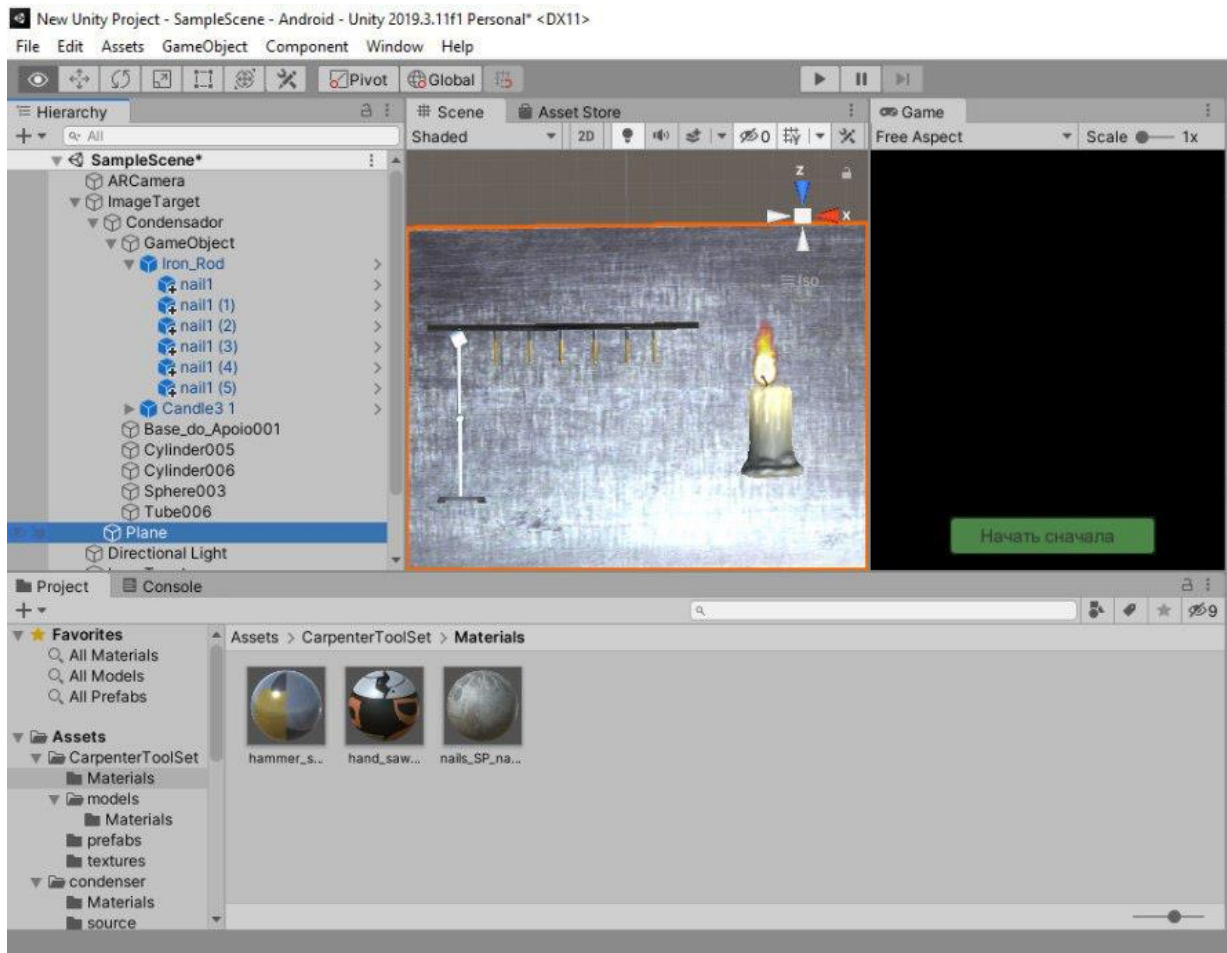


Рисунок 2.11 - Всі об'єкти першого експерименту вдало поєднано на сцені проєкту

Запропонований сценарій розробки доцільно використовувати для опрацювання будь-якого досліду з підручника враховуючи тільки велику різницю складності реалізації самих об'єктів таких як деякі прилади, особливо аналогові і явищ наприклад пароутворення з різних тем фізики.

2.2.2 Реалізація досліду який ілюструє теплове розширення тіл

Завданням наступного досліду є наочна демонстрація зміни внутрішньої енергії тіла та її вплив на його фізичні параметри тіл. Робота зводиться до виготовлення «теплових терезів» доволі відомого досліду суть якого полягає у врівноваженні металевій спиці з морквинами на кінцях і

подальшому нагріванні однієї зі сторін. Металева спиця при нагріванні розшириться і видовжиться тим самим подовживши одне з плеч терезів і порушивши встановлену раніше рівновагу.

Слідуючи розробленому сценарію слід почати розробку з визначення переліку об'єктів. Для проведення описаного досліду нам знадобляться нам знадобляться наступні об'єкти:

- в'язальна спиця;
- дві морквини;
- свічка, за допомогою якої будемо нагрівати один з кінців наших терезів;
- книга для більш точного відтворення ілюстрації-маркера;
- склянка;
- зображення-маркер, на яке реагуватиме камера.

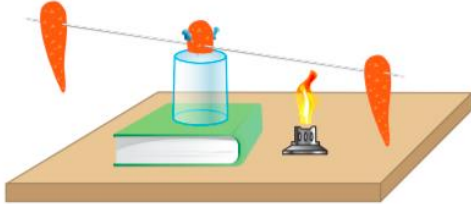
15 / 240

спирту заповнили водою. Тому такий термометр буде незручним!

5. Чому на точних вимірвальних приладах зазначають температуру?
6. Що може трапитись, якщо налити в склянку острів? Поясніть свою відповідь з точки зору теплового розширення тіл.
7. Металева кулька падає на підлогу з певної висоти. Які перетворення механічної енергії відбуваються під час падіння кульки? Куди «зникає» механічна енергія кульки після удару об підлогу?

Експериментальні завдання

1. «Теплові терези». Виготовте «терези», які реагують на різницю температур (див. [рисунок](#)).



Для цього:

- 1) пропустіть крізь обрізок морквини сталеву в'язальну спицю;
- 2) з обох боків спиці застроміть в обрізок морквини дві булавки, а на кожний кінець спиці насадіть невелику морквину так, щоб більша частина морквини була розташована знизу;
- 3) установіть булавки гострими кінцями на дно склянки і, пересуваючи морквини, зрівноважте «терези».

Розташуйте під одним із плечей «терезів» запалену свічку — через деякий час це плече опуститься; приборіть свічку — плече повернеться до початкового положення. Поясніть спостережуване явище.

2. Як за допомогою дощечки, молотка та двох цвяхків продемонструвати, що розмір монети в 5 копійок у результаті нагрівання збільшується? Виконайте відповідний дослід, обов'язково використовуючи пінцет (щипці або пасатижі). Поясніть спостережуване явище.

Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

15

Рисунок 2.12 - Сторінка підручника з експериментом 2

Завдяки об'єктно орієнтованому підходу реалізованому у вибраному середовищі маємо можливість з попередньої системи скопіювати деякі об'єкти для використання в новій системі. Такими об'єктами є «свічка», яка без змін може бути використана в наступному досліді та «стержень» змінивши деякі параметри якого прямо за допомогою вбудованого функціоналу графічного редагування цілком відповідатиме поставленому завданню.

Далі з Asset Store завантажено бракуючі відповідні тривимірні моделі книги, моркви та склянки.

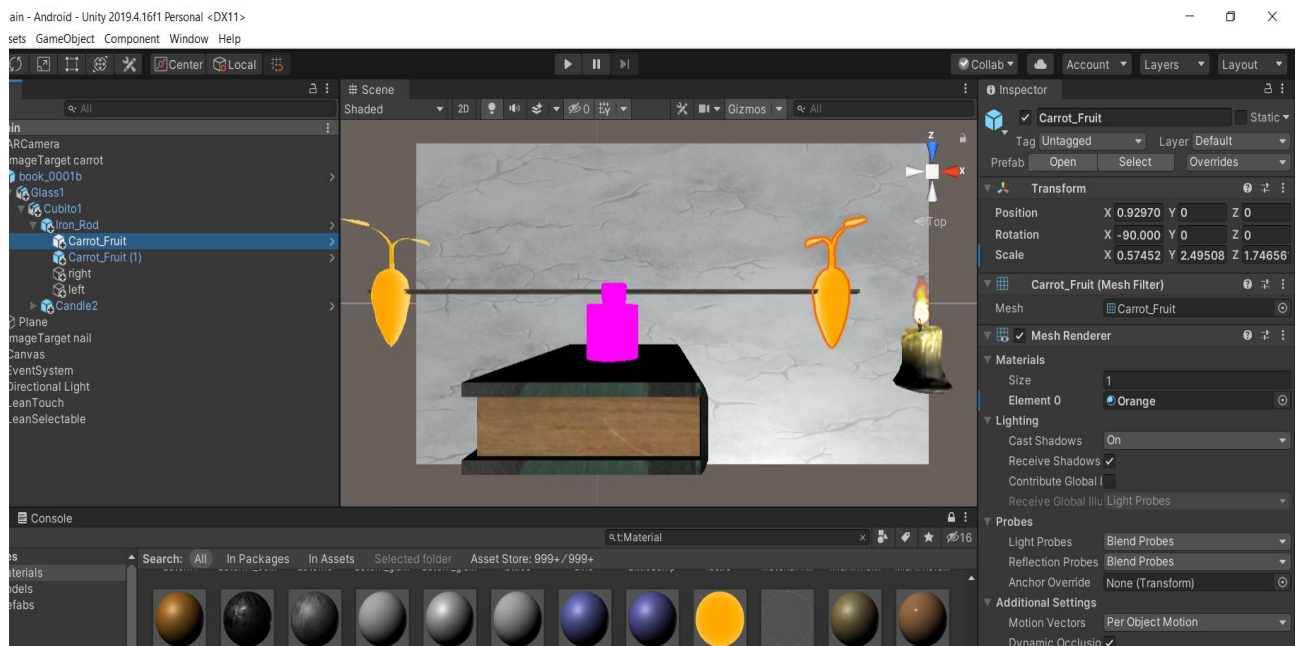


Рисунок 2.13 - Об'єкти другого експерименту поєднано на сцені проєкту

Як і в попередньому експерименті об'єкти поєднуються за допомогою встановлення відповідної ієрархії. І теж представляють собою систему якою користувач не керує напряму, а тільки впливає в даному випадку нагріванням однієї зі сторін терезів.

В другому досліді теми Теплові явища тригером знову виступає об'єкт «полум'я».

Таким чином при перетині координат відповідних елементів який для більшої реалістичності повинен тривати певний час, розпочнеться виконання

скрипту керуючого зміною положень представлених на сцені проєкту об'єктів.

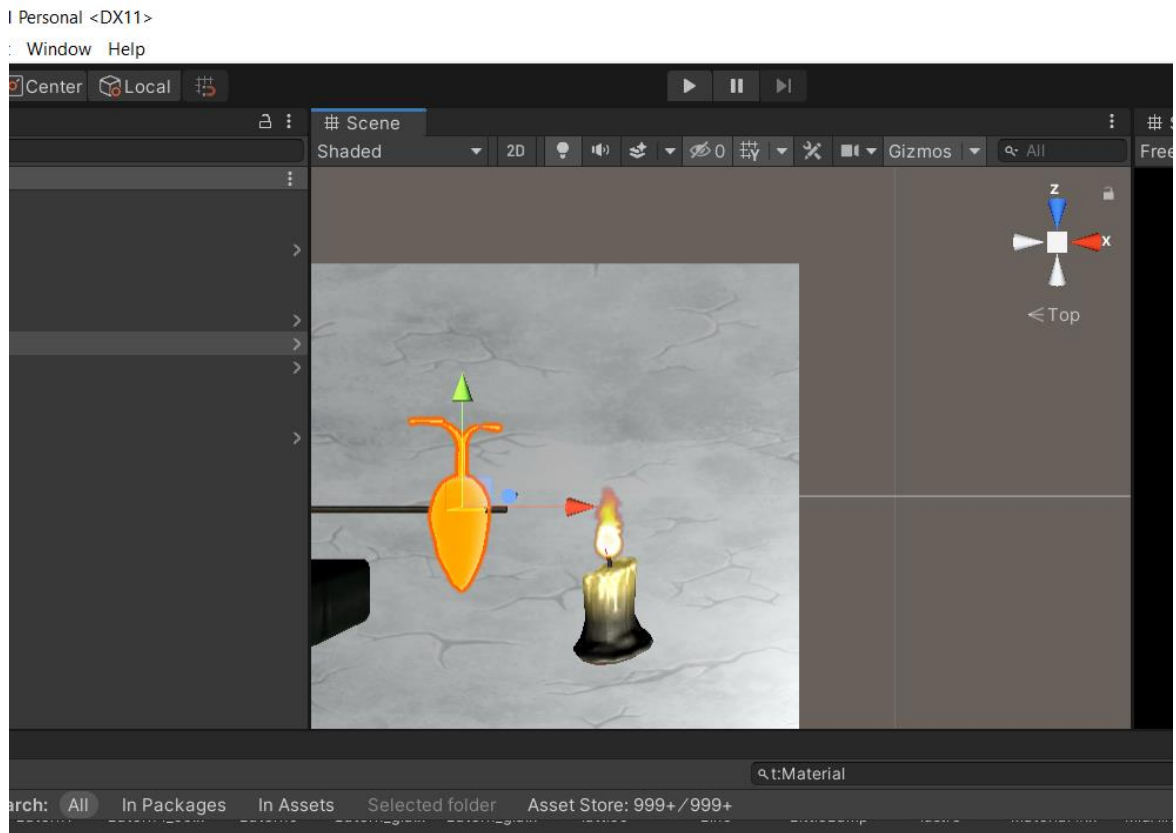


Рисунок 2.14 – Об'єкти взаємодії другого експерименту

У другому експерименті за аналогічним сценарієм виконання проєкту запускає функція `OnTriggerEnter`. Котра викликається в момент коли значення відповідного поля стає рівним "candle", запускається функція `Wait2` яка керує поведінкою спиці.

Завдяки поєднанню об'єктів у систему елементів, відтворення роботи терезів зводиться до програмування обертання спиці, координати точки обертання в даному випадку співпадають з координатами центра спиці.

Як що ж свічку забрати, перетин координат припиниться і буде викликана функція `OnTriggerExit`, яка в свою чергу ще раз перевіривши значення наявності триггеру викличе функцію `CandleOut`, яка для реалістичності через відведений час поверне утворену систему теплових терезів в початково встановлений стан рівноваги.

Таким чином маємо другий готовий до виконання експеримент.

Слід зазначити, що вищеописані досліди на відміну від інших двох були розроблені спільно з іншими здобувачами освіти.

```

IEnumerator Wait2()
{
    yield return new WaitForSeconds(1);

    foreach (float i in k)
    {
        yield return new WaitForSeconds(1);
        metal.transform.rotation *= Quaternion.Euler(0f, i, 0f);
    }
}

IEnumerator CandleOut()
{
    yield return new WaitForSeconds(1);
    foreach (float i in back)
    {
        yield return new WaitForSeconds(1);
        metal.transform.rotation *= Quaternion.Euler(0f, i, 0f);
    }
}

private void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.tag == "candle_carrot")
    {
        StartCoroutine(Wait2());
    }
}

private void OnTriggerExit(Collider other)
{
    if (other.tag == "candle_carrot")
    {
        StartCoroutine(CandleOut());
    }
}

```

Рисунок 2.15 - Керуючий скрипт експерименту 2

2.2.3 Реалізація дослідів який ілюструє низьку теплопровідність ВОДИ

Останнім в розділі «Теплові явища» було розроблено дослід який наочно демонструє низьку теплопровідність води (Рисунок 2.16).

Суть даного експерименту полягає в тому, що здобувач освіти за допомогою свічки нагріває верхню частину пробірки з водою, на дні якої знаходиться кубик льоду утримуваний гайкою. Пробірка в свою чергу закріплена на штативі. Через певний розрахований час вода на поверхні ємності почне кипіти, в той час як на дні пробірки все ще перебуватиме кубик льоду який не розтанув, тобто шар води між льодом та поверхнею виступає чудовою теплоізоляцією.

Даний дослід яскраво підкреслює проблемне питання підняте в розділі актуальності, адже такий простий на перший погляд експеримент вимагає чималої кількості обладнання, робота з яким без нагляду вчителя може бути небезпечною для дітей, а забезпечити його в достатній кількості для проведення експерименту в аудиторій може не кожен навчальний заклад.

І хоча досліди з використанням технологій доповненої реальності поки не можуть повністю замінити реальні експерименти, та все ж для проведення таких невеликих експериментів підійдуть дуже добре через мінімальний час на підготовку учнів і вчителя.

23 / 240 | — 100% + | [] []

2 Переконаємося, що різні речовини по-різному проводять тепло

Ви, напевно, помічали, що одні речовини проводять тепло краще, ніж інші. Так, якщо помістити в склянку з гарячим чаєм дві чайні ложки — сталеву та мідну, то мідна нагріється набагато швидше. Це означає, що мідь краще проводить тепло, ніж сталь.

Досліди показали, що одними з найкращих провідників тепла є метали. Деревина, скло, чимало видів пластмас проводять тепло значно гірше, саме тому ми можемо, наприклад, тримати запалений сірник доти, доки полум'я не досягне пальців (рис. 5.2, а).

Погано проводять тепло й рідини (винятком є розплавлені метали). Проведемо дослід. Покладемо на дно пробірки з холодною водою шматочок льоду, а щоб лід не спливав, притиснемо його важком (рис. 5.2, б). Нагріватимемо на спиртівці верхній шар води. Через певний час вода поблизу поверхні закипить, а лід унизу пробірки ще не розтане.

Ще гірше за рідину проводять тепло газів. І це легко пояснити. Відстань між молекулами газів набагато більша, ніж відстань між молекулами рідин і твердих тіл. Отже, зіткнення частинок і, відповідно, перенесення енергії від однієї частинки до іншої відбуваються рідше.

Скловолокну, вата, хутро дуже погано проводять тепло, оскільки, по-перше, між їхніми волокнами є повітря, по-друге, ці волокна погано проводять тепло самі по собі.

? Розгляньте рис. 5.3, 5.4. Поясніть, чому окремі деталі кухонного начиння виготовлені з різних матеріалів? Чому будинки будують з деревини або цегли? Чому підкладки курток заповнюють пухом?




Рис. 5.2. Досліди, що ілюструють низьку теплопровідність дерева (а) та води (б)

23

Рисунок 2.16 - Експеримент який демонструє низьку теплопровідність води в підручнику

У порівнянні з попередніми дослідями, складність реалізації даного значно вища через необхідність створення таких ефектів, як пароутворення та кипіння рідини.

Після аналізу дослідів було встановлено, що для його реалізації у додатку необхідними будуть наступні об'єкти:

- штатив;
- свічка;
- пробірка;
- вода;
- гайка;
- кубик льоду;
- гайка;
- бульбашки;
- водяна пара.

Штатив і свічку вирішено використати з попередньо реалізованих експериментів.

Далі в Asset Store необхідно знайти підходящу за формою і обов'язково прозору пробірку.

Для відтворення рідини використано вбудований графічний редактор тривимірних фігур, саме таким чином створено фігуру відповідної вимогам візуальної складової форми і надано їй потрібний ступінь прозорості.

Гайку теж було підібрано і завантажено з Asset Store.

Слід зазначити, що всі елементи використані процесі розробки програмного модулю, було збережено з метою подальшого використання. Так як стало очевидним, що є певний перелік об'єктів які відносно часто стають необхідними для проведення дослідів з того чи іншого розділу фізики.

Кубик льоду, як і рідину створено з використанням графічного редактору. Реалістичну ступінь прозорості та масштаб необхідний для вміщення до пробірки встановлено відповідно до загального вигляду створюваної системи.

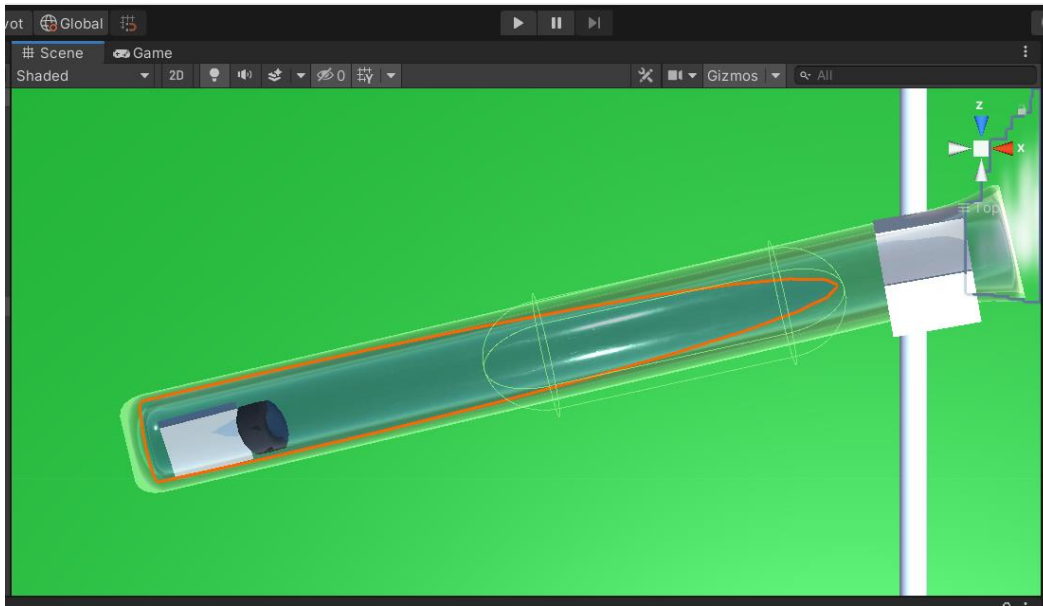


Рисунок 2.17 - Пробірка з дочірніми об'єктами

На вказаному етапі розробки, виникає проблема візуалізації засобами доповненої реальності процесу кипіння води в пробірці.

Було вирішено використати такий специфічний елемент програмного середовища як система частинок. Така система елементів, в нашому випадку кульок, в середовищі Unity має назву «Particle System».

Широкий набір параметрів котрі можна вільно змінювати дає змогу за допомогою використання даної системи візуалізувати такі зовнішньо різні процеси як підняття бульбашок при кипінні рідини і власне пароутворення.

Поведінку кульок, їхні фізичні властивості, та їхню кількість можна налаштувати за допомогою меню властивостей системи частинок. Таким чином обравши меншу кількість кульок на одиницю простору, зробивши їх прозорість і швидкість руху меншими та спрямувавши у відповідному напрямку отримаємо візуальний ефект бульбашок при кипінні (Рисунок 2.18). А значно збільшивши щільність частинок та додавши їм прозорості і швидкості отримаємо необхідний нам ефект пару (Рисунок 2.19).

Після налаштувань кожного з об'єктів дослідження необхідно розмістити їх на сцені проєкту. Знову користуючись ієрархією зробимо воду, кубик льоду та гайку залежними від пробірки, вище описані системи частинок в свою чергу залежними від води, а вже пробірку «приєднаємо» до штативу.

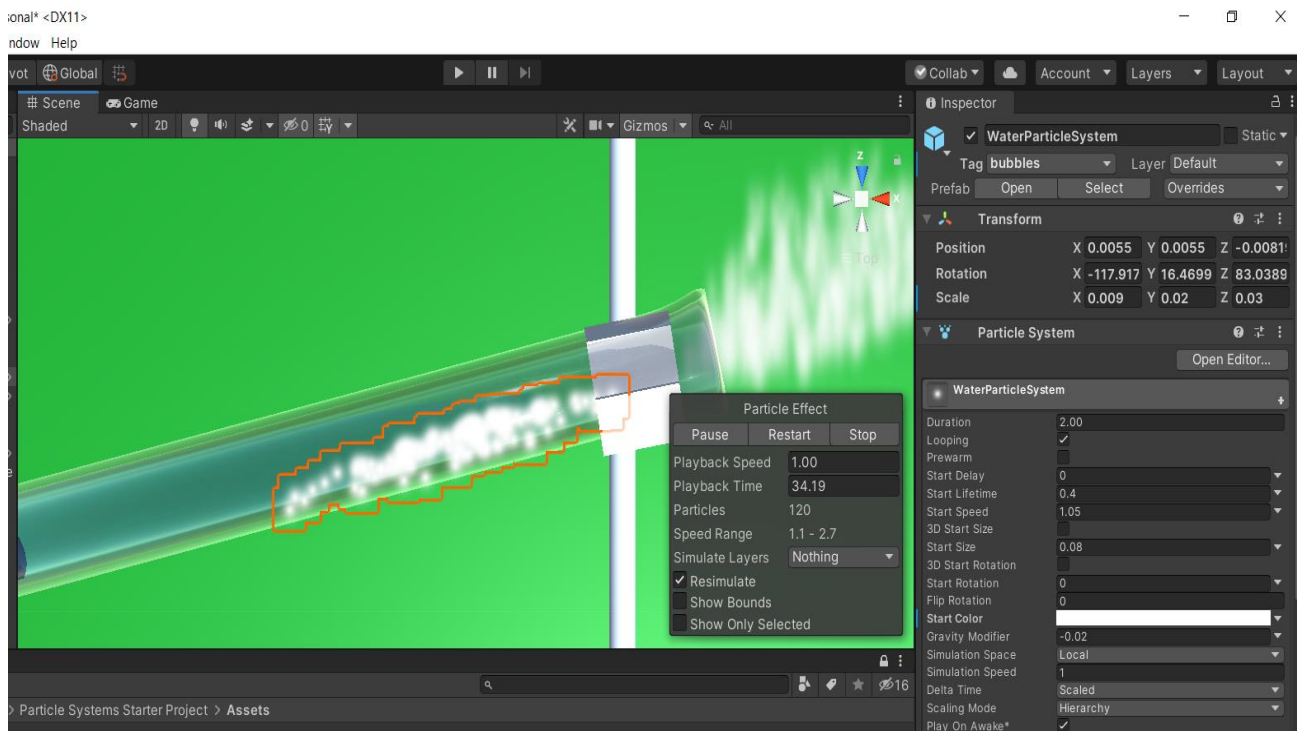


Рисунок 2.18 - Налаштування Particle System для візуалізації утворення бульбашок при кипінні

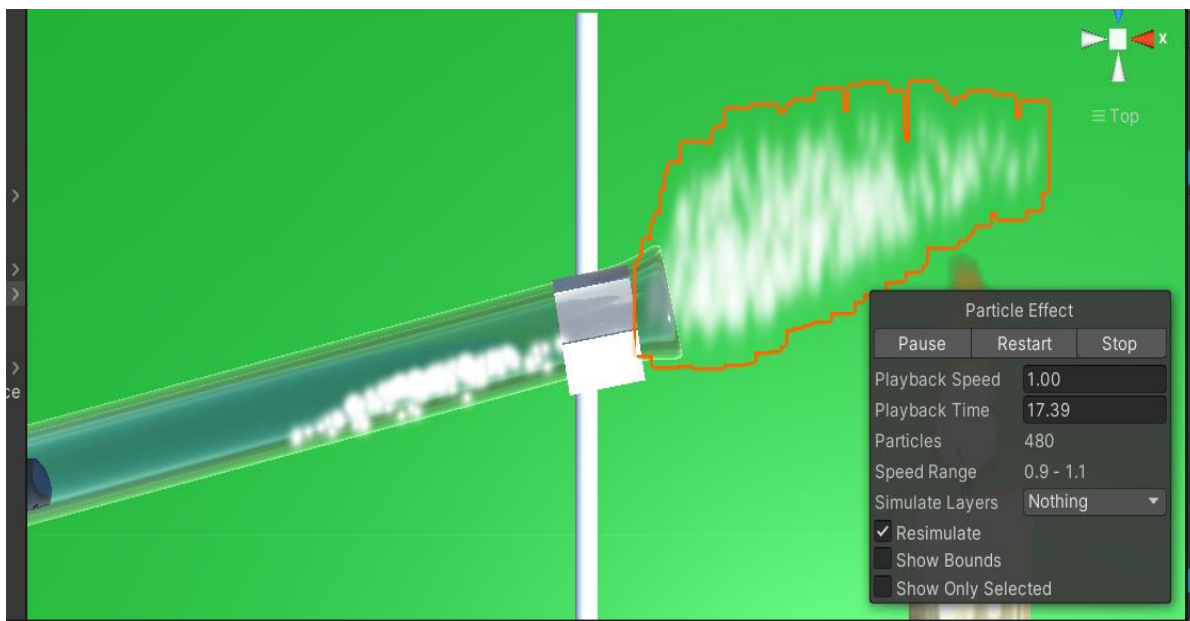


Рисунок 2.19 - Налаштування Particle System для візуалізації пароутворення

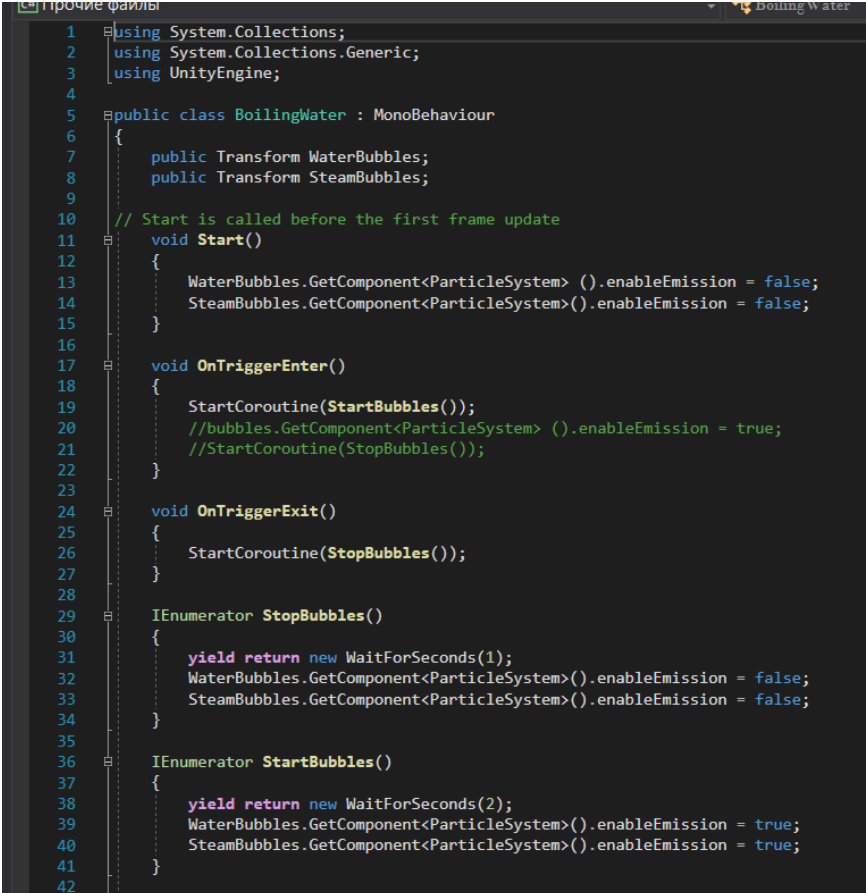
Саме «прив'язування» елементів одне одного за допомогою ієрархічної структури дозволяє уникнути труднощів пов'язаних зі збиванням налаштувань координат об'єктів яке часом має місце. Адже виставлення їх

таким чином, щоб картинка була природньою і приємно та коректно виглядала займає досить багато часу.

Залишається лише запрограмувати момент запуску та вимикання системи зі зниканням вказаних систем частинок з затримкою для реалістичності даної анімації. Реалізується це за допомогою виклику відповідних функцій в керуючому скрипті.

Отже, наступним кроком дослідження була розробка скрипту (Рисунок 2.20) з відповідним набором функцій для синхронного керування цими двома системами. Скрипт спрацьовує при підведенні й утримуванні користувачем свічки біля верхньої частини пробірки, так як «полум'я» знову виступає в ролі об'єкта-тригера.

Як можна спостерігати системи частинок є різними екземплярами одного класу Particle System. І тому вимагають окремого керування і налаштувань.



```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class BoilingWater : MonoBehaviour
6  {
7      public Transform WaterBubbles;
8      public Transform SteamBubbles;
9
10     // Start is called before the first frame update
11     void Start()
12     {
13         WaterBubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = false;
14         SteamBubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = false;
15     }
16
17     void OnTriggerEnter()
18     {
19         StartCoroutine(StartBubbles());
20         //bubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = true;
21         //StartCoroutine(StopBubbles());
22     }
23
24     void OnTriggerExit()
25     {
26         StartCoroutine(StopBubbles());
27     }
28
29     IEnumerator StopBubbles()
30     {
31         yield return new WaitForSeconds(1);
32         WaterBubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = false;
33         SteamBubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = false;
34     }
35
36     IEnumerator StartBubbles()
37     {
38         yield return new WaitForSeconds(2);
39         WaterBubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = true;
40         SteamBubbles.GetComponent<ParticleSystem>().enableEmission = true;
41     }
42

```

Рисунок 2.20 - Скрипт який одночасно керує двома Particle System

2.2.4 Реалізація дослідів який ілюструє роботу закону Кулона

Таким чином було завершено розробку найбільш підходящих до візуалізації дослідів виходячи з можливостей розробника та цікавості здобувачів освіти до візуальної складової описаних експериментів.

Як зазначалось вище другим розділом фізики який вивчається за навчальною програмою та який описано в обраному підручнику є «Електричні явища».

Слід зазначити, що дослід з розділу «Електричні явища» є візуально менш цікавими в порівнянні з тими які ілюструють теплові явища. Незважаючи на це опанування цією теми є невід'ємною частиною шкільного курсу фізики.

Поняття електричного заряду та роботи законів яким подбоярдується його вплив на інші об'єкти, є фундаментальними в представленому розділі фізики, адже всі інші поняття і закони обов'язково пов'язані з їх розумінням.

Виходячи з вищесказаного до розробки було прийнято дослід який ілюструє роботу закону Кулона (Рисунок 2.21).

3 Формулюємо закон Кулона

На підставі проведених дослідів Кулон установив закон, який згодом отримав його ім'я, — **закон Кулона**:

Сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані r між ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

де k — коефіцієнт пропорційності.

Було встановлено, що під час взаємодії точкових зарядів у вакуумі* $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Зверніть увагу: в законі Кулона йдеться про добуток модулів зарядів, оскільки знаки зарядів впливають лише на напрямок сили.

Сили, з якими взаємодіють два точкові заряди, ще називають **силами Кулона**.

Сили Кулона напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди, що взаємодіють (рис. 22.3).

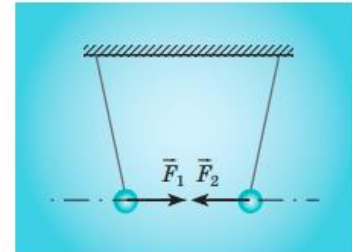
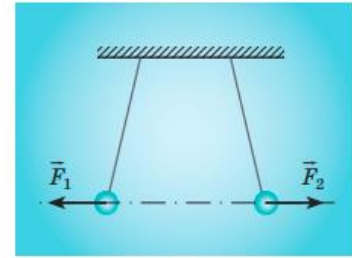


Рис. 22.3. Сили електричної взаємодії (\vec{F}_1 і \vec{F}_2) напрямлені вздовж умовної прямої, що з'єднує точкові заряди

Рисунок 2.21 - Сторінка підручника з обраним дослідом

Перелік об'єктів в даному випадку являє собою набір простих геометричних фігур таких як кульки, стрілки та риси. Всі вони можуть бути створені у вбудованому редакторі.

Так як експерименти такого роду не мають такої яскравої візуальної складової як попередні, було прийнято рішення реалізувати на сцені проекту поля для введення значення параметрів, які впливатимуть на рух об'єктів, а також зображення представлення закону Кулона у вигляді формули.

Таким чином користувач зможе прослідкувати як зміна значень параметрів впливає на результат взаємодії зарядів. Керуючий скрипт в даному випадку в основному буде спиратись і реалізовувати формулу закону, який вивчається.

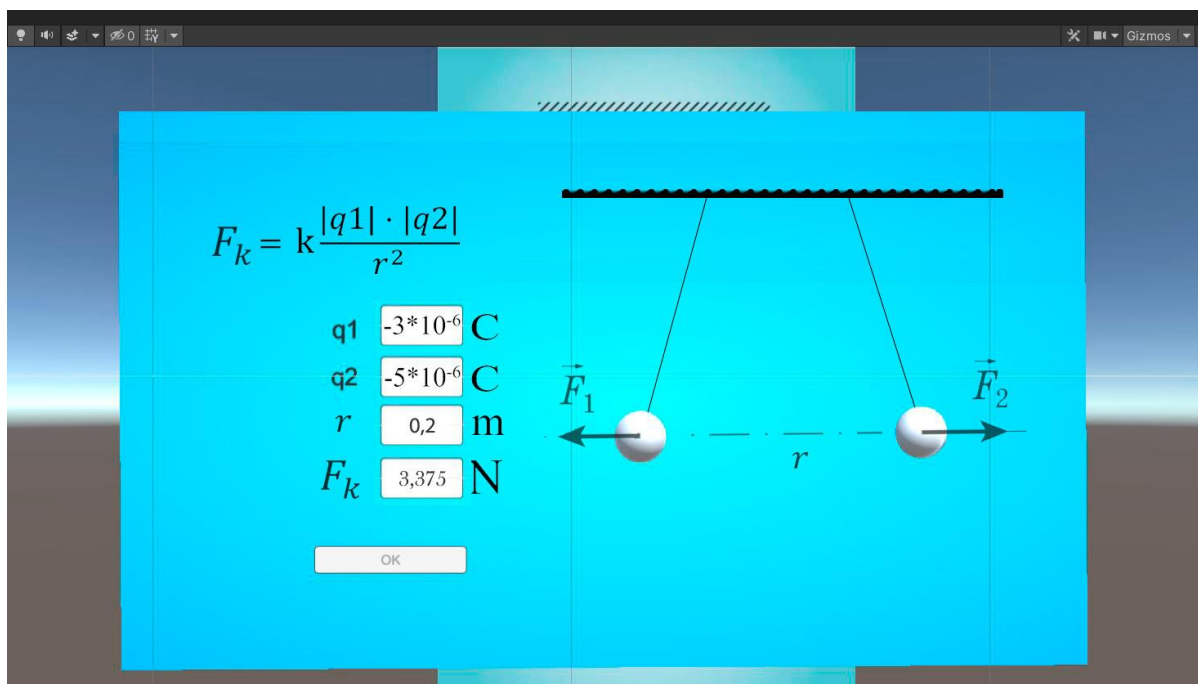


Рисунок 2.22 - Об'єкти і поля поєднані на сцені проєкту

В даному випадку активувати скрипт буде вже не перетин об'єктом-тригером певної зони, а просте натискання кнопки.

Таким чином, реалізація даного досліду показує, що за допомогою технологій доповненої реальності можна «оживити» навіть на перший погляд не дуже цікаві з точки зору візуальної складової експерименти.

ВИСНОВКИ

У процесі дослідження порушеної проблеми залучення технологій доповненої реальності до такої сфери суспільного життя як процес здобуття освіти, а саме вивчення законів фізики, були розв'язані всі поставлені задачі та отримані результати, аналіз та узагальнення яких дають можливість зробити наступні висновки.

По-перше, проведений теоретико-технологічний аналіз досвіду застосування засобів доповненої реальності в освітньому процесі показав, що попит на програмні модулі навчального призначення використання з використанням AR технологій достатньо високий. Водночас, не дивлячись на значний (більше ніж 60 років) період розвитку описаних в роботі технологій розробки такого роду систем, лише в останні два десятиліття з'явилися технологічні передумови для їх широкого упровадження завдяки масовому поширенню мобільних пристроїв.

По-друге, було встановлено що для розробки засобів доповненої реальності існують зручні, безкоштовні для некомерційного використання середовища розробки такі як Unity 3D та SDK призначені для розширення можливостей середовища з урахуванням конкретних потреб, такі як Vuforia, які роблять процес розробки реальним навіть при за умови обмеженості ресурсів розробника. Великий вибір засобів для проектування і створення додатків з використанням доповненої реальності надає можливість комбінувати їхній функціонал, підключаючи їх у якості модулів до платформи розробки Unity.

По-третє, аргументована доцільність використання додатків з технологією AR для проведення дослідів з вивчення роботи фізичних законів. Завдяки відсутності потреби використання небезпечного й дорого обладнання такі досліді можуть зайняти своє місце в навчальному плані освітніх закладів. Особливо враховуючи можливість проведення дослідів

здобувачами освіти самостійно вдома, що в умовах сьогодення є значущою перевагою такого виду лабораторних робіт.

Створено модель та розроблено AR додаток для проведення експериментів за обома розділами фізики котрі передбачені навчальною програмою восьмого класу, а саме: «Теплові явища» та «Електричні явища». Не дивлячись на значну різницю в складності реалізації дослідів вказаних розділів фізики, були знайдені рішення для візуалізації всіх розроблюваних систем на реалістичному рівні.

Таким чином можна зробити висновок, що в повному обсязі було охоплено програму з фізики за восьмий клас.

Проведене дослідження може і має бути продовжене в напрямку вдосконалення існуючого додатку: розширення його функціоналу, охоплення більшої кількості розділів фізики та більшого різноманіття дослідів з реалізацією елементів більшої складності, розробки інтерфейсу якісно вищого рівня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Witmer B., Singer M. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire // *Presence*. 1998. Vol. 7. P. 225—240
2. Piekarski W. Interactive 3D Modelling in Outdoor Augmented Reality Worlds [Electronic resource] : A Research Thesis for the Degree of the Doctor of Philosophy / Wayne Piekarski ; Wearable Computer Lab, School of Computer and Information Science, Division of Information Technology, Engineering, and the Environment, University of South Australia. – Adelaide, 2004. – 264 p. – Access mode : <http://www.tinmith.net/wayne/thesis/piekarski-thesis.pdf>
3. Lessiter J., Freeman J., Keogh Davidoff J. A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2001. Vol. 10. P. 282-29.
4. Величковский Б. Б. Возможности когнитивной тренировки как средства коррекции возрастных изменений когнитивного контроля // *Экспериментальная психология*. 2009. Т. 2. № 4. С. 67-91.
5. Авербух Н. В. Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде // *Вопросы психологии*. 2010. № 5. С. 105—113.
6. <https://osvitoria.media/opinions/virtualna-ta-dopovnena-realnist-yakouy-mozhe-buty-suchasna-osvita/>
7. Krueger M. W. *Artificial Reality* / Myron W. Krueger. – Addison-Wesley, 1983. – 312 p.
8. Krueger M. W. *Responsive environments* / Myron W. Krueger. – AFIPS '77 Proceedings of the June 13-16, 1977, National computer conference, 1977. – P. 423-433. – DOI : 10.1145/1499402.1499476
9. Thomas B. ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application / Bruce Thomas, Ben Close, John Donoghue, John Squires, Phillip De Bondi, Michael Morris, Wayne Piekarski // 4th Int'l Symposium on Wearable Computers, Atlanta, USA, Oct 2000. – P. 139-146. – DOI: 10.1109/ISWC.2000.888480. – Access mode : <http://wearables.unisa.edu.au/wpcontent/uploads/2010/05/thomas-iswc-2000.pdf>
10. Войскунский А. П., Меньшикова Г. Я. О применении систем виртуальной реальности в психологии // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*. 2008. № 1. С. 22-36
11. Cieutat J.-M. Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of 73 Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills [Electronic resource] / Jean-Marc Cieutat, Olivier Hugues, Nehla Ghouaïel // *International Journal of Computer Applications*. – 2012. – Vol. 46. – No 20, May. – P. 31-36. – Access mode : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00739730/document>
12. Restivo M. T. *Augmented Reality in Electrical Fundamentals* [Electronic resource] / M. T. Restivo, F. Chouzal, J. Rodrigues, P. Menezes, B. Patrão

- and J. B. Lopes // International Journal of Online Engineering (iJOE). – 2014. – Vol. 10. – No 6. – P. 68-72. – Access mode : <http://online-journals.org/index.php/ijoe/article/download/4030/3323>
13. 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. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. – Кропивницький : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2017. – С. 93-100.
 14. Development environment Unity, [on-line resource] <https://unity3d.com>
 15. Development environment Unreal Engine, [on-line resource] <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>
 16. Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR SDK [Electronic resource] / Wikitude GmbH. – 2018. – Access mode : <https://www.wikitude.com/>
 17. Development environment Google VR, [on-line resource] <https://vr.google.com/>
 18. Vuforia | Augmented Reality for the Industrial Enterprise [Electronic resource] / PTC. – 2018. – Access mode : <https://www.vuforia.com/>
 19. Development environment Windows Mixed Reality, [on-line resource] <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality>
 20. Development environment ARCore, [on-line resource] <https://developers.google.com/ar/>
 21. Development environment ARKit, [on-line resource] <https://developer.apple.com/arkit/>
 22. Mintii I. S. Augmented Reality: Ukrainian Present Business and Future Education [Electronic resource] / Iryna S. Mintii, Vladimir N. Soloviev // Augmented Reality in Education : Proceedings of the 1st International Workshop 76 (AREdu 2018). Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018 / Edited by : Arnold E. Kiv, Vladimir N. Soloviev. – P. 227-231. – (CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), Vol. 2257). – Access mode : <http://ceur-ws.org/Vol2257/paper22.pdf>
 23. Development environment Vuforia, [on-line resource] <https://developer.vuforia.com/>
 24. AREdu 2018 Augmented Reality in Education (AREdu 2018). Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education Kryvyi Rih, Ukraine, October 2 (2018), <http://ceur-ws.org/Vol-2257/>.
Augmented Reality in Education (AREdu 2019). Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality in Education Kryvyi Rih, Ukraine, March 22 (2019), <http://ceurws.org/Vol-2547/>.

**КОДЕКС АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ХЕРСОНЬСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Я, Тарасюк Артур Олександрович
учасник(ця) освітнього процесу Херсонського державного університету, **УСВІДОМЛЮЮ**, що академічна доброчесність – це фундаментальна етична цінність усієї академічної спільноти світу.

ЗАЯВЛЯЮ, що у своїй освітній і науковій діяльності **ЗОБОВ'ЯЗУЮСЯ**:

- дотримуватися:
 - вимог законодавства України та внутрішніх нормативних документів університету, зокрема Статуту Університету;
 - принципів та правил академічної доброчесності;
 - нульової толерантності до академічного плагіату;
 - моральних норм та правил етичної поведінки;
 - толерантного ставлення до інших;
 - дотримуватися високого рівня культури спілкування;
- надавати згоду на:
 - безпосередню перевірку курсових, кваліфікаційних робіт тощо на ознаки наявності академічного плагіату за допомогою спеціалізованих програмних продуктів;
 - оброблення, збереження й розміщення кваліфікаційних робіт у відкритому доступі в інституційному репозитарії;
 - використання робіт для перевірки на ознаки наявності академічного плагіату в інших роботах виключно з метою виявлення можливих ознак академічного плагіату;
- самостійно виконувати навчальні завдання, завдання поточного й підсумкового контролю результатів навчання;
 - надавати достовірну інформацію щодо результатів власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використаних методик досліджень та джерел інформації;
 - не використовувати результати досліджень інших авторів без використання покликань на їхню роботу;
 - своєю діяльністю сприяти збереженню та примноженню традицій університету, формуванню його позитивного іміджу;
 - не чинити правопорушень і не сприяти їхньому скоєнню іншими особами;
 - підтримувати атмосферу довіри, взаємної відповідальності та співпраці в освітньому середовищі;
 - поважати честь, гідність та особисту недоторканність особи, незважаючи на її стать, вік, матеріальний стан, соціальне становище, расову належність, релігійні й політичні переконання;
 - не дискримінувати людей на підставі академічного статусу, а також за національною, расовою, статевою чи іншою належністю;
 - відповідально ставитися до своїх обов'язків, вчасно та сумлінно виконувати необхідні навчальні та науково-дослідницькі завдання;
 - запобігати виникненню у своїй діяльності конфлікту інтересів, зокрема не використовувати службових і родинних зв'язків з метою отримання нечесної переваги в навчальній, науковій і трудовій діяльності;
 - не брати участі в будь-якій діяльності, пов'язаній із обманом, нечесністю, списуванням, фабрикацією;
 - не підроблювати документи;
 - не поширювати неправдиву та компрометуючу інформацію про інших здобувачів вищої освіти, викладачів і співробітників;
 - не отримувати і не пропонувати винагород за несправедливе отримання будь-яких переваг або здійснення впливу на зміну отриманої академічної оцінки;
 - не залякувати й не проявляти агресії та насильства проти інших, сексуальні домагання;
 - не завдавати шкоди матеріальним цінностям, матеріально-технічній базі університету та особистій власності інших студентів та/або працівників;
 - не використовувати без дозволу ректорату (деканату) символіки університету в заходах, не пов'язаних з діяльністю університету;
 - не здійснювати і не заохочувати будь-яких спроб, спрямованих на те, щоб за допомогою нечесних і негідних методів досягати власних корисних цілей;
 - не завдавати загрози власному здоров'ю або безпеці іншим студентам та/або працівникам.

УСВІДОМЛЮЮ, що відповідно до чинного законодавства у разі недотримання Кодексу академічної доброчесності буду нести академічну та/або інші види відповідальності й до мене можуть бути застосовані заходи дисциплінарного характеру за порушення принципів академічної доброчесності.

23.09.2021
(дата)


(підпис)

Тарасюк А.О.
(ім'я, прізвище)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Рецензія на кваліфікаційну роботу (проект)

Навчальний рік: 2022-2023
 Факультет: комп'ютерних наук, фізики та математики
 Спеціальність: 122 Комп'ютерні науки
 Освітньо-професійна (наукова) програма Комп'ютерні науки
 Форма навчання: денна
 Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень освіти
 Тема: Програмні модулі об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів
 Виконавець: Тарасюк Артур Олександрович

Зміст рецензії:

Кваліфікаційна робота Тарасюка А.О. присвячена проектуванню та реалізації програмних модулів об'єктів доповненої реальності для використання під час вивчення фізичних законів. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних джерел.

Робота відповідає визначеній темі та виконана відповідно до поставлених завдань. У роботі чітко визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, що дало змогу сформулювати обґрунтовані результати дослідження. В ході написання випускної роботи студентом проаналізовано та опрацьовано достатню кількість джерел: технічної документації, наукових статей, підручників, веб-сайтів. Матеріал роботи викладено логічно та послідовно.

Серед позитивних якостей кваліфікаційної роботи можна відзначити практичну значущість результатів роботи для поширення технологій доповненої реальності в освітньому процесі, високу затребуваність наукового співтовариства в дослідженнях у цьому напрямку, відмінно проведене моделювання і проектування програмного забезпечення, добре розроблений додаток з великими функціональними можливостями.

Крім того суттєвою перевагою є опрацювання обох розділів фізики, за програмою восьмого класу.

Згідно з довідкою про перевірку на текстові збіги за допомогою програмного засобу «Unichesk» кількість текстових збігів становить 21,6% від загальної кількості сторінок у роботі, що відповідає середньому рівню унікальності.

Загалом, випускна робота відповідає встановленим вимогам до робіт другого (магістерського) рівня освіти та заслуговує високої оцінки.

Рецензент



(підпис)

д.пед.н. професор Кузьменков С.Г.
(наук. ступінь, вчене звання, П.І.Б.)

Дата 12.12.2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Відгук наукового керівника
на кваліфікаційну роботу (проект)**

Навчальний рік 2022 – 2023

Факультет комп'ютерних наук, фізики та математики

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні науки»

Форма навчання денна

Ступень вищої освіти другий (магістерський) рівень освіти

Тема: Програмні модулі об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів

Виконавець: Тарасюк Артур Олександрович

Зміст відгуку: Кваліфікаційна робота Тарасюка А.О. присвячена проектуванню та реалізації програмних модулів об'єктів доповненої реальності для використання при вивченні фізичних законів. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено його об'єкт, предмет, мету, завдання, теоретичну і практичну значущість. Перший розділ присвячений дослідженню предметної області з моделювання 2D і 3D програмних об'єктів навчального призначення з використанням технологій доповненої реальності. У другому розділі роботи проведено проектування та описано технологію створення мультимедійних 3D програмних модулів об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів за програмою з фізики 8 класу. Матеріал випускної роботи викладений послідовно і логічно обґрунтовано. Сформульовані і обґрунтовані висновки дослідження. Робота виконана відповідно до поставлених завдань. За матеріалами роботи підготовлено доповідь на міжнародну наукову конференцію ICTERI 2021. Перевірка на текстові збіги у системі Unicheck дала такі результати: збіг включень – 21,6%, цитат – 2,9%. Збіг пов'язаний з використанням означень та професійної термінології.

Кваліфікаційна робота підготовлена з урахуванням вимог до робіт відповідного рівня для ЗВО III-IV рівнів вищої освіти, пройшла перевірку на академічну доброчесність і може бути рекомендована до захисту.

Науковий керівник



(підпис)

к. ф.-м. н., доц. Кравцов Г.М.

(наук. ступінь, вчене звання ПІБ)

Дата 12.12.2022



Ім'я користувача:
Оксана Бінова

ID перевірки:
1013034323

Дата перевірки:
27.11.2022 10:48:48 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
27.11.2022 12:49:39 EET

ID користувача:
94124

Назва документа: 122_Tarasiuk_fknfm_2022_check - Артур Олександрович Тарасюк

Кількість сторінок: 38 Кількість слів: 7357 Кількість символів: 55101 Розмір файлу: 1.01 MB ID файлу: 1012738627

21.6% Схожість

Найбільша схожість: 20.5% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1007603901)

Не знайдено джерел з Інтернету

21.6% Джерела з Бібліотеки 2 Сторінка 40

2.9% Цитат

Цитати 7 Сторінка 41

Посилання 1 Сторінка 41

0% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 1%)

0% Вилучення з Інтернету 1 Сторінка 42

0% Вилученого тексту з Бібліотеки 8 Сторінка 42

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 1