

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК, ФІЗИКИ ТА
МАТЕМАТИКИ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЗАКОНІВ І ЯВИЩ З ФІЗИКИ В 9
КЛАСІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ДОПОВНЕНОЇ
РЕАЛЬНОСТІ**

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

Виконав: здобувач 2М курсу 12-241М групи
Спеціальності 121 Інженерія програмного
забезпечення
Освітньо-професійної програми
«Інженерія програмного забезпечення»

Проценко Данило Євгенович

Керівник: Кравцов Г. М. кандидат
фізикоматематичних наук, доцент.
Рецензент: Тарасюк А.О. вчитель
інформатики Херсонського фізико-
технічного ліцею

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. Дослідження доповненої реальності.....	5
1.1. Поняття і історичні відомості розвитку доповненої реальності...	5
1.2. Типи і застосування програмного забезпечення з використанням доповненої реальності.....	12
1.3. Апаратне забезпечення технології доповненої реальності.....	17
1.4. Програмне забезпечення технології доповненої реальності.....	19
РОЗДІЛ 2. Моделювання програмних засобів за технологією Unity 3D з використанням технологій доповненої реальності.....	24
2.1. Використання AR технологій у навчальному процесі.....	24
2.2. Моделювання сценаріїв візуалізації фізичних законів.....	27
2.3. Моделювання Unity 3D об'єктів візуалізації фізичних законів з використанням технологій доповненої реальності.....	34
РОЗДІЛ 3. Проектування та розроблення 3D-об'єктів візуалізації фізичних законів з курсу фізики 9 клас.....	37
3.1. Сценарії демонстрації фізичних процесів у комп'ютерних програмах навчального призначення.....	37
3.2. Проектування 3D об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів курсу фізики 9 клас.....	41
3.3. Створення програмного забезпечення візуалізації дії фізичних законів курсу фізики 9 клас.....	43
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

У наш час технології розвиваються дуже швидко і наче з кожним роком нам вдається розробити все більше та ще швидше. Таким чином на щорічних виставках та презентаціях з'являється все більше приголомшливих та інноваційних винаходів. Технологія доповненої реальності не є винятком і в наш час вона вже має значні досягнення у різних областях та сферах починаючи від розваг та закінчуючи медициною та навіть військовою підготовкою. Для прикладу можна розглянути такий додаток як “AR Plan 3D” - додаток для вимірювання поверхонь приміщення. Вона також надає звіти як: метрики та локацію, фото зображення, вигляд згори та збоку, можливість обертання отриманого 3D плану приміщення. Ну і звісно усім відомі додатки від таких великих компаній як: “Ikea”, “Wayfair”, “Patron”, “Cambria” та “Overstock”. У цих додатках можна було вибрати будь-які меблі з каталогу, і на попередньо відскановану поверхню поставити їх, таким чином можна зрозуміти як ті чи інші меблі будуть виглядати у вас вдома ще задовго до поїздки до магазину.

Актуальність дослідження. На мою думку тема моєї дипломної роботи є дуже актуальною у наш час тому, що у період повномасштабної війни десятки чи навіть тисячі шкіл були зруйновані, більшість учнів вимушені навчатися онлайн без можливості фізично проводити лабораторні роботи, проводити експерименти та працювати з лабораторним обладнанням. Тож такий додаток ідеально підходить для

того щоб учні перебуваючи вдома чи навіть в укриттях мали можливість робити усе те чого вони могли б робити у лабораторії без потреби ризикувати своїм життям. Також такий додаток допоможе учням у візуалізації законів та явищ які простим оком дуже складно або фізично неможливо побачити, тим сами зробить це не тільки наочним але й стимулюючим для отримання нових знань.

Об'єктом дослідження є процес навчання фізики в 9 класі.

Предметом дослідження є застосування технології доповненої реальності для візуалізації фізичних явищ і законів у курсі фізики 9 класу.

Мета - розробити програмне забезпечення для візуалізації законів і явищ фізики 9 клас за технологією доповненої реальності.

Завдання:

1. Дослідити тематику питання;
2. Розробити або вибрати модель об'єкта;
3. Моделювання 3D об'єкта;
4. Розробити проектування програмного забезпечення;
5. Розробити програмне забезпечення 3D об'єктів.

РОЗДІЛ 1. Дослідження доповненої реальності

1.1. Поняття і історичні відомості розвитку доповненої реальності

Доповнена реальність (Augmented Reality) - це така технологія яка дозволяє нам інтегрувати у реальний світ віртуальні об'єкти, графіки, надписи, відео і тд, для цього використовуються телефони, планшети, окуляри та шоломи у режимі реального часу[1].

Вперше ідея, яка дуже схожа до сучасного поняття технології доповненої реальності, була описана у 1901 році у науково-фантастичному романі автора Л. Фрэнка Баума “Master Key”, у якому автор згадує про ідею електронного дисплея/окулярів, які накладають дані на об'єкти навколишнього середовища, та назвав це “маркером характеру”.

У 1950-х роках було вперше розроблені проекційні дисплеї (HUD), яка є технологією-попередником доповненої реальності, які використовували пілоти. Вони проектували прості дані про політ у прозорий дисплей, що дозволяло пілотам тримати голову піднятою і не відволікатися на прилади [2].

Вперше доповнена реальність певною мірою була досягнута у 1957 році, це був кінематографіст на ім'я Мортон Хейліг у 1957 році. Його винахід має назву Sensorama, яка передавала глядачеві такі візуальні ефекти як: вібрацію, запахи та звуки. Попри те, що процес не був автоматизованим за рахунок комп'ютера, даний випадок став першим прикладом спроби збагатити враження додатковими даними [3].

У 1968 році американський вчений з Гарварду Іван Сазерленд (якого прозвали “батьком комп'ютерної графіки”) створив першу систему дисплеїв, які кріпилися на голову, на яких вже графіка відтворюється за допомогою комп'ютера. На рисунку 1.1 зображено систему дисплеїв Івана Сазерленда прозвану “Дамоклів Меч”.



Рисунок 1.1. система дисплеїв “Дамоклів Меч”.

Американський комп'ютерний художник Майрон Крюгер у 1975 році розробив перший інтерфейс “віртуальної реальності” під назвою

“Videoplace”, який дозволив користувачам взаємодіяти та маніпулювати віртуальними об’єктами.

Перший у світі комп’ютер ,який можна було носити на собі, було створено Стівом Манном у 1980 році. Ним стала система комп’ютерного зору, яка отримала назву “See EyeTap” (відома також як “See Heads Up Display”). Вона накладала тестову та графічну інформацію на оточуюче середовище. На малюнку 1.2 зображено той самий носимий комп’ютер.



Рисунок 1.2. носимий комп’ютер “See EyeTap”.

У 1992 році відбулися дві ключові події у розвитку доповненої реальності. Першою подією було представлення Луї Розенбергом, з науково-дослідницької лабораторії ВПС США імені Армстронга, перших працездатних систем доповненої реальності “Virtual Fixtures”, ефективність яких було доведено шляхом експериментів. Того ж року Стівен Файнер, Блер Макінтайр та Дорі Селігман на конференції “Graphics Interface” оприлюднили статтю, в якій описали прототип системи доповненої реальності та фреймворку KARMA.

Знакова подія відбулася у 1994 році в історії медіамистецтва: Джулі Мартин представила першу в світі театральну постановку з використанням доповненої реальності під назвою - “Танці в Кіберпросторі”. Отримавши фінансування від Австралійської ради мистецтв, він демонстрував як танцюристи та акробати взаємодіють з віртуальними об’єктами, що інтегрувалися в реальну сценічну площину. Основою інсталяції виступили комп’ютери Silicon Graphics та система відстеження рухів Polhemus.

У 1996 році було створено інноваційну систему фахівцями з корпорації General Electric, вона дозволяла накладати інформацію в реальному просторі з тривимірних CAD-моделей. Саме це рішення започаткувало використання доповненої реальності для візуалізації проектної документації.

У 2000 році було продемонстровано прототипи бездротових переносних систем доповненої реальності науковим центром Rockwell. Представлені бездротові пристрої мали змогу приймати аналогове відео та просторове аудіо по радіоканалу та надавали функцію для навігації, відображаючи цифрові контури горизонту, які були згенеровані з бази даних рельєфу, поверх реального зовнішнього середовища в реальному часі.

Першим досвідом компанії Sony у сфері доповненої реальності став 2003 рік, вихід на ринок кольорової веб-камери EyeToy для PlayStation 2. Цей пристрій став першопрохідцем у спробі інтеграції технології доповненої реальності у масові розважальні продукти.

Важливим кроком у апробації технології доповненої реальності у носимій формі стала демонстрація компанії Trimble у 2004 році функціонуючого прототипу шолома з інтегрованою системою доповненої реальності.

2006 рік ознаменувався початком розробки інноваційного медіаплеєра доповненої реальності від компанії Outland Research. Його унікальність полягає в синхронному поєднанні аудіоконтенту (музики) з віртуальними об'єктами, що накладаються на реальне оточення, формуючи принципово новий формат розваг.

У 2009 році компанія Saqoosha адаптувала бібліотеку ARToolKit для роботи у середовищі Adobe Flash, що дало технології доповненої реальності бути доступною у веб-браузері.

У 2011 році компанія Ogmento (яка згодом перейменувалася в Activision Blizzard) випустила перший проєкт у сфері мобільних ігор - "Paranormal Activity: Sanctuary". Ця гра стала першим комерційним досвідом використання доповненої реальності, орієнтованої на локацію (location-based AR).

Започаткована у 2012 році інтерактивна ігрова платформа доповненої реальності LyteShot реалізувала концепцію ігор доповненої реальності, ключовою особливістю якої було використання розумних окулярів як основного інтерфейсу для взаємодії та візуалізації з ігровим середовищем.

У 2015 році важливою подією став анонс платформи Windows Holographic від компанії Microsoft та розроблення для неї гарнітури доповненої реальності HoloLens яка до того ж є автономною. Відмінною

ресою гарнітури стало використання вбудованого комплексу датчиків та спеціалізованих процесорів для інтеграції високодеталізованих голограм у реальний простір. На рисунку 1.3 зображено гарнітуру HoloLens.



Рисунок 1.3. Гарнітура HoloLens.

У липні 2016 року пройшов реліз мобільної гри “Pokemon Go” від компанії Niantic для платформ IOS та Android, яка стала масштабним комерційним проєктом, який популяризував технологію доповненої реальності серед масового споживача. На рисунку 1.4 зображено приклад роботи гри “Pokemon Go”.



Рисунок 1.4. Приклад роботи гри “Pokemon Go”.

У 2019 році представили друге покоління гарнітури лоповнеої реальності - HoloLens 2 від компанії HoloLens 2. Нова модель відзначилася великим технологічним прогресом, зокрема розширенням поля зору та покращення ергономіки, що забезпечило більше комфортну та ефективну взаємодію з голографічним контентом. На рисунку 1.5 продемонстровано гарнітуру HoloLens 2.



Рисунок 1.5. Гарнітура HoloLens 2.

1.2. Типи і застосування програмного забезпечення з використанням технології доповненої реальності

Існує всього 4 типи доповненої реальності у даний час, вони мають таку назву:

- Маркерна доповнена реальність;
- Безмаркерна доповнена реальність;
- Проекційна доповнена реальність;
- Доповнена реальність на основі нашарування;

Маркерна доповнена реальність, яка більше відома як технологія розпізнавання зображень, використовує спеціальні графічні маркери та камеру для його розпізнавання. У ролі маркера може виступати будь-який візуальний об'єкт: починаючи зі звичайних QR-кодів до спеціалізованих

ідентифікаторів. Програмне забезпечення пристрою доповненої реальності розпізнає маркер, робить обчислення по його просторовому положенню та орієнтації, що дозволяє більш точно інтегрувати віртуальний контент у реальний світ. І як результат ми отримуємо тривимірні моделі або цифрові анімації, які наче “закріплені” на фізичному об’єкті.

Безмаркерова доповнення реальність базується на роботі геолокаційних та сенсорних даних, які отримуються з вбудованих у пристрій засобів, таких як: GPS, гіроскоп, компас та акселерометр. Саме за допомогою цієї інформації можна визначити точне місцезположення та орієнтацію користувача в просторі. І вже на основі отриманих даних система динамічно підбирає та відображає релевантний контент доповненої реальності, який прив’язаний до певної географічної точки. Такий тип доповненої реальності зазвичай використовують у смартфонах для: анонсів подій та довідкових даних, відображення інформації про навколишні бізнеси, показ контекстної реклами та створення інтерактивних карт і навігаційних маршрутів.

Проекційна доповнена реальність ґрунтується на принципі, у якому відбувається проектування штучного світла на реальні поверхні з можливістю подальшої взаємодії з ними. Особливістю є те, що технологія відстежує зміни в проекції (затемнення від рук тощо), інтерпретуючи їх як команди користувача, що імітує роботу голографічних інтерфейсів, популярні у кінематографії.

Доповнена реальність на основі нашарування - це технологія, яка передбачає часткове або повне заміщення реального зображення віртуальним контентом. Її робота не можлива без попереднього розпізнавання об’єктів у просторі. Як прикладом для цього є додаток

IKEA Catalog, у якому після того як користувач ідентифікував поверхні та об'єкти в кімнати, може інтерактивно розміщувати 3D-моделі меблів з каталогу у власному інтер'єрі [4].

У наш час технологія доповненої реальності використовується у багатьох галузях починаючи від медицини до розваг та наведіть воєнної підготовки.

Технологія доповненої реальності знайшла застосування в археології для реконструкції потенційного вигляду об'єктів на основі наявних артефактів таких як: руїни, архітектурні елементи, ландшафтні особливості та навіть зображення стародавніх людей. Як приклад можна розглянути систему VITA (Visual Interaction Tool for Archeology), вона дозволяє користувачеві візуалізувати та інтерактивно дослідити результати розкопок у віртуальному просторі, і для цього навіть не потрібно відвідувати місця розташування пам'яток.

У архітектурі також використовують технологію доповненої реальності для попереднього перегляду візуалізації будівельних проєктів. З її допомогою можливо накласти згенероване комп'ютером зображення майбутньої будівлі на реальний ландшафт ще до початку її будівництва. Першою публічною демонстрацією цього підходу провела компанія Trimble Navigation у 2004 році. Також технологія доповненої реальності дозволяє архітекторам трансформувати традиційні усім звичні 2D креслення у 3D моделі безпосередньо на робочому місці, що в свою чергу значно підвищує ефективність проєктування.

За допомогою додатків доповненої реальності також можна покращити сприйняття архітектурних пам'яток через можливість

віртуального огляду зовнішнього та внутрішнього вигляду. Крім того, покращення GPS дозволяє будівельникам візуалізувати підземні комунікації прямо на місцевості, що спрощує презентації робіт та вирішення будівельних завдань. На рисунку 1.6 можна побачити візуалізацію підземних комунікацій.



Рисунок 2.6. Візуалізація підземних комунікацій.

У сфері освіти технологія доповненої реальності є однією з найперспективніших для впровадження, вона розширює можливості стандартної навчальної програми. Доповнена реальність дозволяє в форматі реального часу доповнювати навчальний простір учнів мультимедійним контентом починаючи від тексту та графіки до аудіо та відео, шляхом сканування маркерів у підручнику чи на карті. Подальший розвиток технології відкриває великі перспективи для створення глибокого інтерактивного середовища, у якому вже учень має змогу власноруч маніпулювати об'єктами дослідження.

Технологія доповненої реальності також допомагає у оптимізації промислового виробництва шляхом заміни паперових інструкцій інтерактивними посібниками, що безпосередньо відображаються у полі зору оператора. Такий підхід дозволяє значно знизити навантаження на оператора, підвищує точність виконання операції та мінімізувати ризики помилок. Крім того вона спрощує та прискорює процеси технічного обслуговування устаткування, надаючи миттєвий доступ до історії його експлуатації та ремонтів.

Для комерційної сфери доповнена реальність відкриває нові можливості, перетворюючи традиційні маркетингові інструменти з друкованих матеріалів у інтерактивну рекламу, а в роздрібній торгівлі спрощує вибір товарів за допомогою віртуального примірювання. Одним з таких рішень є проєкт BodyMetrics, який після сканування тіла створює 3D аватар користувача для примірювання цифрових моделей одягу без потреби фізичного контакту з продукцією чи перебування у магазині [5]. На рисунку 2.7 можна побачити приклад його роботи.

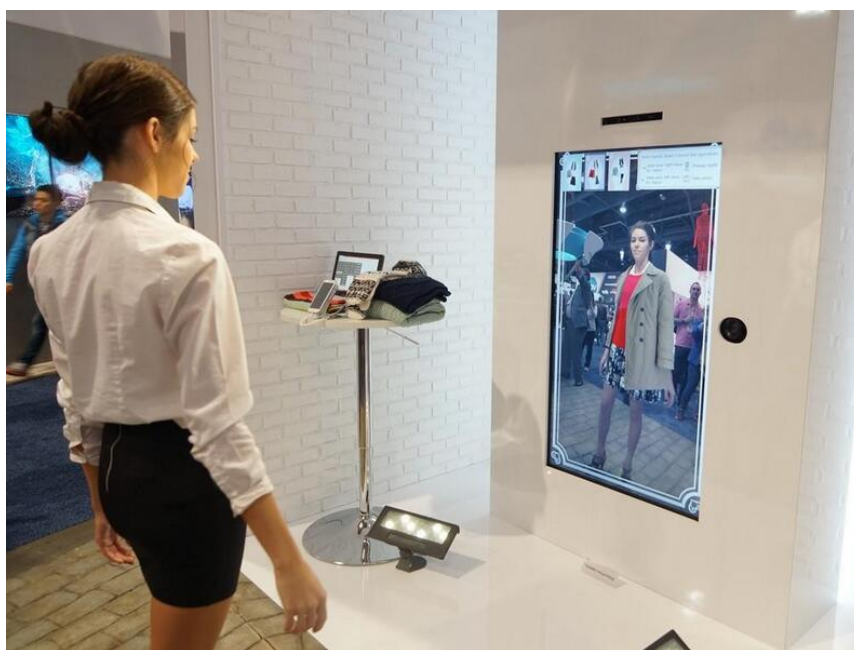


Рисунок 2.7. Приклад роботи BodyMetrics.

Доповнена реальність має одне з найактивніших застосувань у сфері розваг. Такі відомі бренди як Disney та Lego активно інвестують у розробку ігор з використанням доповненої реальності, що стимулюють інтерес до такої технології у інших великих виробників іграшок, що забезпечує технології значні інвестиції та масиви даних для аналізу та подальшого розвитку. Таким чином це дозволяє доповненій реальності прогресувати і знаходити застосування в більш складніших галузях [6].

Також для вдосконалення процесу льотної підготовки фахівців з Університету Іллінойсу (Урбана-Шампейн) у ході експерименту було впроваджено технологію доповненої реальності для тренування льотчиків. Він полягав у візуалізації оптимальної траєкторії польоту в просторі за допомогою симулятора, що дозволило студентам в реальному часі спостерігати та коригувати свої дії щодо заданого маршруту.

Першим застосуванням технології доповненої реальності на телебаченні стала візуалізація метеопрогнозів. З часом ця технологія розвинулася від простого відображення погоди до сучасної інтеграції відео з багатокамерної зйомки з 3D графікою в рамках єдиної геопросторової моделі, що дозволяє створювати комплексні анімовані образи, які ми бачимо щодня по телевізору [5].

1.3 Апаратне забезпечення технології доповненої реальності

Апаратними компонентами технології доповненої реальності є:

- Процесор;
- Дисплей;
- Датчик;
- Пристрої введення;

До пристроїв доповненої реальності ключовою вимогою є наявність потужного центрального процесора, який є оптимізованим для забезпечення тісної взаємодії з усіма компонентами системи. Він є необхідним для виконання ресурсомістких операцій у форматі реального часу, що є критично важливим для якісного досвіду.

У якості дисплея для доповненої реальності можуть виступати як і мініатюрні окуляри (для прикладу окуляри Google Glass) так і шоломи повного занурення (таких як HTC Vive). Незалежно від форми конструкція наголовних дисплеїв ґрунтується на двох основних компонентах: це оптична система та дисплеї формування зображення. По принципу взаємодії з навколишнім оточенням розрізняють два типи систем: оптично-прозорі (користувач має огляд безпосередньо в реальності) та відеопрозорі (у яких користувач має огляд через камеру).

Для правильного функціонування система доповненої реальності потребує залучення широкого спектру сенсорних технологій, такі як: датчики відстеження руху, аудіо вхід та розпізнавання мовлення. Оскільки головною задачею доповненої реальності є об'єднання реального середовища з віртуальним, вона також використовує просунуті технології сканування: IMU, теплові карти, структуроване світло, що у купі дозволяє досягти високої точності позиціонування та взаємодії.

В системах доповненої та віртуальної реальності пристрої введення відповідають за фіксацію взаємодії користувача з реальними об'єктами та віртуальним середовищем. Дані які отримуються з пристроїв введення проходять через низку операцій, таких як: агрегація, семантична інтерпретація та подальшій передачі до світової симуляції. Такі пристрої

мають кілька типів класифікації, за рівнем точності та характером генерованих подій (дискретні або безперервні) [7].

1.4 Програмне забезпечення технології доповненої реальності

Проекти доповненої реальності досить часто базуються на ігрових рушіях (програмних фреймворках), що надають коючові функції для розробки таких додатків. Ігрові рушії мають такі основні функції як: візуалізація 2D та 3D графіки, фізичні механізми або виявлення зіткнень, анімації, штучний інтелект, мережа, звук, сценарії, потокове передавання, керування пам'яттю, підтримка локалізації, графік сцени, потоки та підтримка відео для кінематографії. Використання ігрових рушіїв є економічно ефективним та вигідним підходом до розробки не тільки додатків доповненої реальності, це дозволяє розробникам значно оптимізувати процес створення продукту шляхом повторного використання вже існуючого коду без багаторазового створення аналогічного коду для різних рішень так проєктів [8].

Ігрові рушії дозволяють оптимізувати часу та ресурсів і надають змогу сконцентруватися більше на створенні контенту: моделювання персонажів, розробка текстур, проектування ігрових механік та фізики взаємодії об'єктів. В якості основи використовують графічні API (наприклад DirectX, OpenGL та XNA) та спеціальні бібліотеки для роботи з фізикою, графічними сценами та елементами інтерфейсу.

Також можна створити власний ігровий рушій, це є складною задачею. Проте якщо при створенні продукту з унікальними технологічними вимогами, що не підтримуються за допомогою існуючих рушіїв, таке рішення може бути цілком виправданим. Але все ж таки перед

розробкою власного рушія потрібно провести ретельний аналіз усіх аргументів “за” та “проти”. Серед аргументів “за” можна виділити:

1. Інноваційність технології: потреба у реалізації таких рішень та функціоналу, відсутніх у інших рушіях або складна у реалізації.
2. Спеціалізація: можливість створити таке рішення, яке буде ідеально підходити під конкретні задачі проєкту, усуваючи зайвий функціонал.
3. Технологічна незалежність: таким чином можна уникнути залежності від ліцензійних умов або політик дорожніх політик великих компаній, маючи повний контроль над інструментом.
4. Навчальна ціль: розробка власного ігрового рушія з нуля допоможе у засвоєнні принципів роботи рушіїв через практичну реалізацію.

Серед аргументів “проти” можна виділити:

1. Переоцінка можливостей: дуже важко перевершити вже готові рушії від великих компаній (Unity, Unreal Engine, GoDot) одночасно в усіх аспектах, власний рушій може бути кращим лише у вузькій спеціалізації.
2. Хибне розуміння професії: ігровий рушій - це всього лише інструмент, і його використання не знижує професійності розробника, якщо він гарно та ефективно вирішує поставлені задачі.
3. Економія ресурсів: розробка рушія з нуля потребує багато часу, сил та фінансових витрат порівняно з використанням та адаптацією готового рішення.

Тож як підсумок я можу сказати, що рішення про розробку власного ігрового рушія є деяким компромісом між повним контролем та відповідальністю за його аспекти та функціонал. Хоча робота з власним

інструментом надає розробникам гнучкість в той самий час покладає на розробника багато навантаження з його підтримки та вдосконалення [9].

Найвідомішими у сфері ігрових рушіїв є Unreal Engine та Unity. Unreal Engine представляє з себе серію ігрових рушіїв для роботи з 3D графікою, розроблений компанією Epic Games, перша версія якого була представлена у 1998 році - це був шутер під назвою “Unreal”. В цілому рушієм Unreal Engine був розроблений для створення ігор-шутерів від першої особи, але згодом він набрав популярності і почав використовуватися у багатьох інших різноманітних жанрів ігор та навіть у галузях як кіно та телеіндустрія. В основі його роботи використовувалася мова програмування C++ та має високий рівень сумісності, що в свою чергу дозволяє розробляти додатки для таких платформ як: настільні, мобільні, консольні та віртуальні. Останньою актуальною версією ігрового рушія на даний час є Unreal Engine 5.6, яка вийшла 3 червня 2025 року. Та найкращою рисою цього рушія є те, що його вихідний код доступний для кожного на платформі GitHub, що в свою чергу дозволяє розробникам дороблювати чи налаштовувати його під свої потреби [10].

За допомогою єдиної уніфікованої платформи, Unreal Engine також підтримує розробку додатків доповненої реальності, які можуть бути орієнтовані на кілька мобільних платформ. Ці самі платформи надають широкий спектр функцій для розробки своїх проєктів: відстеження обличчя, зондування середовища, перекриття об'єктів, гіо трекінг тощо, а Handheld AR Template надає повний приклад проєкту доповненої реальності, що демонструє функціональність доступну в Unreal Engine [11].

Unity - це ігровий рушій, який підтримує розробку додатків для багатьох платформ (настільних, мобільних, консольних, платформ доповненої та віртуальної реальності), анонсований та випущений у 2005 році на конференції Apple Worldwide Developers Conference командою Unity Technologies як ігровий рушій для Mac OS X. Unity особливо популярний як інструмент для розробки мобільних ігор для Android та IOS, він вважається простим у використанні (для початківців) та популярний для розробки інді-ігор [12].

У Unity для розробки багатоплатформних додатків доповненої реальності використовують AR Foundation. Вже у самому проєкті AR Foundation розробник сам обирає, які функції доповненої реальності увімкнути. Коли користувач вже запускає даний додаток на пристрої доповненої реальності, AR Foundation вмикає обрані функції за допомогою вбудованого AR SDK платформи. Для того щоб використовувати AR Foundation на цільових платформах, потрібно також встановити окремий пакет плагінів від постачальника цієї платформи:

- Плагін Google ARCore XR для Android;
- Плагін Apple ARKit XR для IOS [13];

Пакет плагіна ARCore XR реалізує такі функції AR Foundation за допомогою ARCore 1.31:

1. Увімкнення, вимкнення та налаштування доповненої реальності у проєкті;
2. Відстежування положення та обертання пристрою у фізичному просторі;
3. Рендеринг зображень з камер пристроїв та оцінка освітлення;
4. Виявляти та відстежувати поверхні, 2D зображення, людські обличчя та ключові точки;

5. Випускати промені на відстежувані об'єкти;
6. Відстежування довільних точок у просторі;
7. Генерування кубічних карт оточення [14].

Пакет плагіна Apple ARKit XR реалізує такі функції AR Foundation:

1. Увімкнення, вимкнення та налаштування доповненої реальності у проєкті;
2. Відстежування положення та обертання пристрою у фізичному просторі;
3. Рендеринг зображень з камер пристроїв та оцінка освітлення;
4. Виявляти та відстежувати поверхні, 2D зображення, 3D об'єктів, людські обличчя, людського тіла та ключові точки;
5. Випускати промені на відстежувані об'єкти;
6. Відстежування довільних точок у просторі;
7. Генерування кубічних карт оточення;
8. Генерують сітку оточення;
9. Відстежують інші пристрої в сеансі спільної AR-сесії [15].

Розділ 2. Моделювання програмних засобів за технологією Unity 3D з використанням технології доповненої реальності

2.1. Використання AR технології у навчальному процесі.

Технологія доповненої реальності (Augmented Reality, AR) надає широкі можливості для урізноманітнення навчального процесу та підвищення його ефективності. Як зазначають дослідники, AR – це інтерактивний досвід реального середовища, в якому об'єкти реального світу «доповнюються» комп'ютерною перцептивною інформацією [17]. Завдяки поєднанню візуального, аудіального й практичного компонентів навчання відбувається у більш природний спосіб, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу. Учень не просто читає чи слухає, а активно взаємодіє з навчальним контентом — обертає тривимірні об'єкти, змінює їх параметри, спостерігає за результатами дій. Така форма роботи розвиває самостійність, логічне мислення та вміння робити висновки на основі експерименту.

AR-технології сприяють формуванню навичок, необхідних у сучасному світі, — зокрема, уміння працювати з інформаційними ресурсами, критично оцінювати дані, застосовувати цифрові інструменти для вирішення навчальних завдань. Крім того, взаємодія з доповненою реальністю розвиває увагу, пам'ять і здатність концентруватися, що позитивно впливає на загальний рівень навчальної діяльності. Експертне опитування вчителів, проведене Г. Кравцовим та А. Пулінець, підтверджує, що найвищі оцінки серед переваг навчальних ресурсів на базі AR отримали такі показники, як «мотивація учнів» (4,8/5) та «важливість інтерактивності» (4,3/5) [16].

У контексті навчання фізики доповнена реальність дає можливість наочно демонструвати ті явища, які важко або неможливо спостерігати у звичайному шкільному кабінеті. Наприклад, за допомогою AR можна показати рух планет, дію сили тяжіння, електромагнітні поля чи закони Ньютона у динаміці. Учні бачать, як змінюється поведінка об'єктів при різних умовах, що дозволяє глибше зрозуміти суть фізичних закономірностей. Як зазначається в дослідженні, «використання AR-додатків для візуалізації ілюстрацій моделей об'єктів і процесів у шкільних підручниках може покращити якість знань учнів» [16].

Ще однією важливою перевагою є можливість створення безпечного середовища для проведення експериментів. Багато фізичних дослідів потребують спеціального обладнання або можуть бути потенційно небезпечними. Використання AR дозволяє уникнути ризиків, водночас зберігаючи експериментальний характер навчання. Це особливо важливо при роботі з молодшими школярами або під час дистанційного навчання. Досвід, описаний у роботі [18], де розроблено AR-модель для демонстрації теплопровідності металів, є наочним підтвердженням безпеки та ефективності віртуальних експериментів.

Доповнена реальність також стимулює колективну діяльність. Учні можуть працювати в групах, спільно досліджуючи певні явища, порівнюючи результати, обговорюючи висновки. Такий формат підвищує рівень комунікативних умінь, сприяє розвитку командної роботи та взаємодопомоги. Соціальне опитування серед учнів STEM-школи, проведене Н. Осіповою та ін., показало високий рівень готовності та зацікавленості учнів у використанні VR/AR технологій, що свідчить про їхній мотиваційний потенціал і сприяння груповій роботі [18].

Використання QR-кодів у технологіях доповненої реальності відіграє важливу роль у спрощенні доступу до інтерактивного навчального контенту. QR-коди часто виконують функцію «ключів» для первинного запуску додатку або ідентифікації підручника, тоді як безпосередньо за запуск 3D-моделі відповідають спеціальні зображення-маркери (тригери), розміщені на сторінках [16, 18].

Основною перевагою QR-кодів є їхня простота використання. Учителю достатньо розмістити код у друкованому підручнику, на стенді, у презентації або на роздатковому матеріалі. Учень, скануючи цей код своїм пристроєм, миттєво потрапляє до AR-сцени — наприклад, бачить тривимірну модель фізичного явища, анімацію або відеоексперимент. Це усуває потребу у складних налаштуваннях програмного забезпечення і робить технологію доступною навіть для молодших школярів.

Використання QR-кодів та маркерів у поєднанні з AR-технологіями сприяє інтеграції цифрового контенту безпосередньо в навчальний процес. Так, наприклад, на уроці фізики біля формули або ілюстрації можна розмістити маркер, який відкриватиме інтерактивну модель, що демонструє дію закону або перебіг явища. Це дозволяє учням не просто запам'ятати матеріал, а й побачити, як він працює на практиці [16].

Такі коди також зручні для позакласної або самостійної роботи. Учень може сканувати QR-код удома, повторювати навчальний матеріал або досліджувати додаткові приклади, не маючи безпосереднього доступу до шкільного обладнання. Це робить навчання більш гнучким і безперервним.

Крім того, QR-коди можуть використовуватися для диференціації навчання. Учитель може створити кілька варіантів кодів із різним рівнем складності або з різними типами завдань: теоретичними, практичними, дослідницькими. Таким чином, учні отримують можливість працювати на рівні, що відповідає їхнім знанням і інтересам.

2.2. Моделювання сценаріїв візуалізації фізичних законів.

Одним із ключових етапів створення навчальних матеріалів із використанням технології доповненої реальності є моделювання сценаріїв візуалізації фізичних законів. Під сценарієм у цьому контексті розуміють продуману послідовність дій, подій та взаємодій, що відбуваються між учнем, цифровими об'єктами та реальним середовищем під час навчання. Грамотно побудований сценарій дозволяє забезпечити логічну, послідовну та педагогічно обґрунтовану подачу матеріалу, що сприяє кращому розумінню і засвоєнню фізичних понять.

Моделювання сценарію починається з визначення навчальної мети. Для кожного фізичного закону або явища необхідно чітко окреслити, яку саме закономірність або принцип повинен побачити та зрозуміти учень. Наприклад, при візуалізації першого закону Ньютона можна змодельовати рух тіла без дії зовнішніх сил, а також показати, як цей рух змінюється при появі сили тертя. У сценарії другого закону Ньютона доцільно реалізувати зміну прискорення залежно від маси тіла або прикладеної сили.

Наступним етапом є розроблення динамічної моделі — тобто створення тривимірних об'єктів, які ілюструють фізичні процеси. Ці об'єкти повинні бути простими за формою, але достатньо інформативними. Наприклад, для демонстрації сили можна використати векторну стрілку, яка змінює свій розмір і напрям залежно від прикладених параметрів. Усе це повинно супроводжуватися підписами,

поясненнями або звуковими підказками, які допомагають учневі зрозуміти суть спостережуваного явища.

Важливо, щоб сценарії візуалізації були інтерактивними. Учень має мати можливість змінювати умови експерименту — наприклад, регулювати силу, масу або кут нахилу поверхні, спостерігаючи, як це впливає на рух тіла. Такий підхід не лише підсилює ефект присутності, але й формує дослідницькі навички, адже учень самостійно встановлює причинно-наслідкові зв'язки між фізичними величинами.

Моделювання сценаріїв також передбачає педагогічну адаптацію контенту. Візуалізація має бути зрозумілою для учнів відповідного віку, а складність інтеракцій — поступово зростати від базових до більш складних рівнів. Для учнів 9 класу, наприклад, доцільно використовувати моделі, що демонструють основні закони механіки, електродинаміки та теплових явищ у наочній і доступній формі.

Особливу увагу слід приділити зв'язку між теорією та практикою. Кожен AR-сценарій повинен підкріплювати теоретичні знання, отримані на уроці, і водночас дозволяти застосувати їх у новій ситуації. Це може бути коротка інтерактивна демонстрація, віртуальний дослід або навіть міні-гра, у якій учень застосовує фізичні закони для досягнення певного результату.

Для опису взаємодії між компонентами системи використано низку діаграм, які відображають структуру, функціональні можливості та логіку роботи додатку.

На діаграмі "Мультимедійний редактор віртуальної лабораторії в структурі СДН ХВУ" (рис. 2.1) показано, як редактор інтегрується у систему дистанційного навчання ХВУ. Цей модуль дає змогу викладачу

створювати та редагувати навчальні сцени, завантажувати тривимірні об'єкти, налаштовувати сценарії експериментів і прив'язувати їх до відповідних тем фізики.

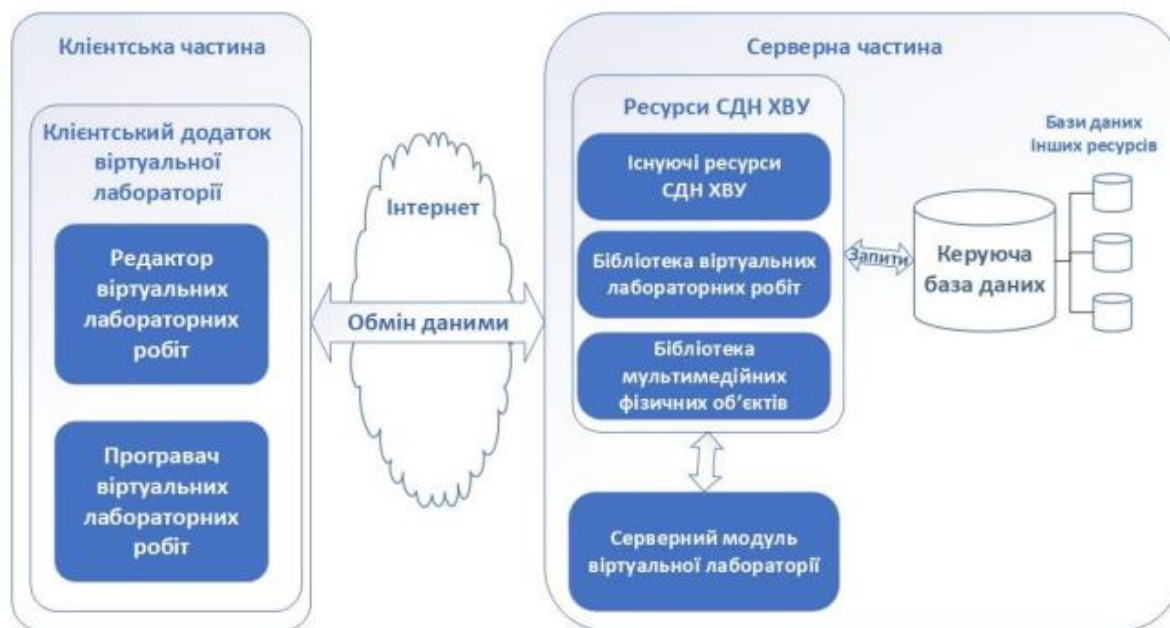


Рис. 2.1. Мультимедійний редактор віртуальної лабораторії в структурі СДН ХВУ

Діаграма "Структура системи віртуальної фізичної лабораторії" (рис. 2.2) демонструє основні підсистеми — користувацький інтерфейс, серверну частину, модуль обробки даних і AR-компонент. Така структура забезпечує стабільну роботу системи, а також можливість розширення функціоналу.



Рис. 2.2. Структура системи віртуальної фізичної лабораторії

Для забезпечення безпечного доступу до навчальних ресурсів створено діаграму "Мережеві інтерфейси для авторизації і виконання роботи" (рис. 2.3). На ній зображено процес входу користувача до системи, перевірку облікових даних та запуск навчального середовища.

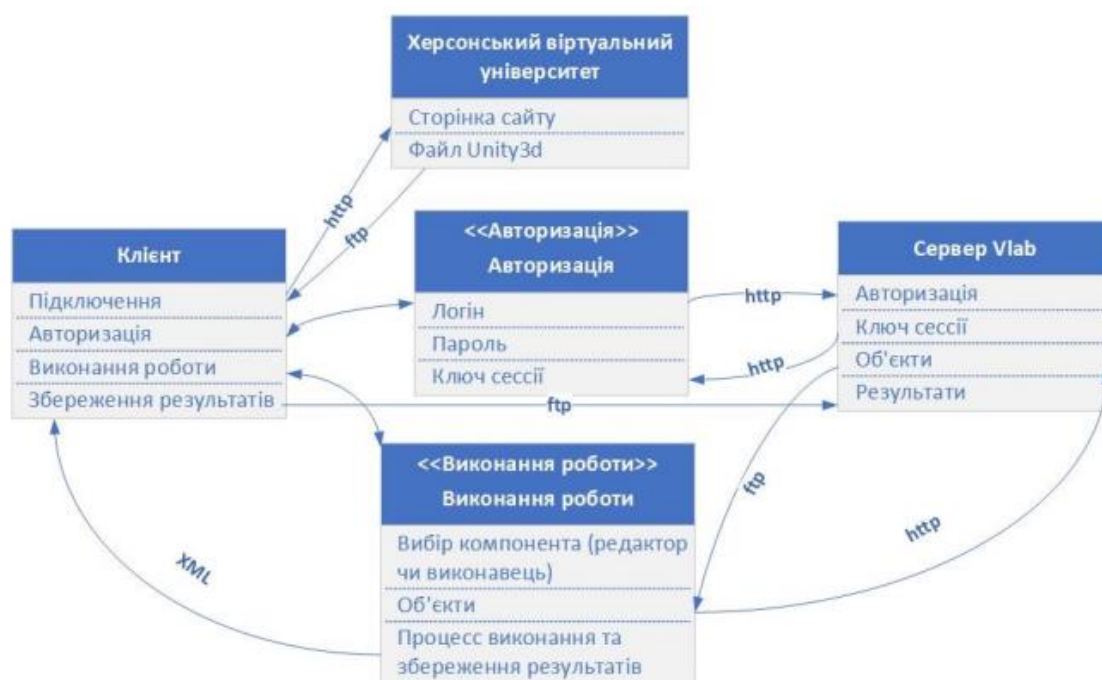


Рис. 2.3. Мережеві інтерфейси для авторизації і виконання роботи

Діаграма "Мережеві інтерфейси для завантаження і збереження віртуальних лабораторних робіт" (рис. 2.4) відображає механізм передачі даних між клієнтом і сервером. Завдяки цьому користувач може зберігати результати експериментів, що особливо важливо для контролю знань і подальшого аналізу успішності.



Рис. 2.4. Мережеві інтерфейси для завантаження і збереження віртуальних лабораторних робіт.

"Модель системи навчання з використанням віртуальної та доповненої реальності" (рис. 2.5). У цій моделі поєднано елементи традиційного навчання, віртуального середовища та AR-компонент. Вона описує взаємодію між викладачем, студентом, навчальними ресурсами та середовищем доповненої реальності.

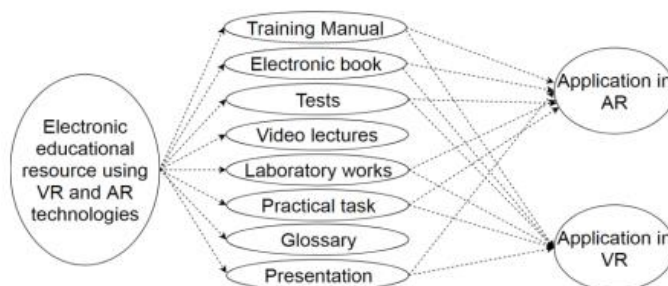


Рис. 2.5. Модель системи навчання з використанням віртуальної та доповненої реальності

Діаграма "Компоненти навчальної системи доповненої реальності" (рис. 2.6) деталізує структуру самого AR-додатку: модулі візуалізації, управління фізичними моделями, контролю взаємодії користувача та відображення навчального матеріалу.

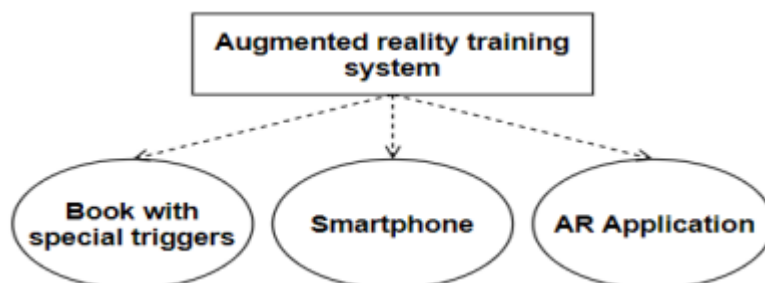


Рис. 2.6. Компоненти навчальної системи доповненої реальності

Щоб описати поведінку користувача у системі, створено Use Case діаграму для додатку доповненої реальності (рис. 2.7). Вона показує основні сценарії взаємодії — перегляд моделей, запуск експериментів, зміна параметрів, отримання результатів.

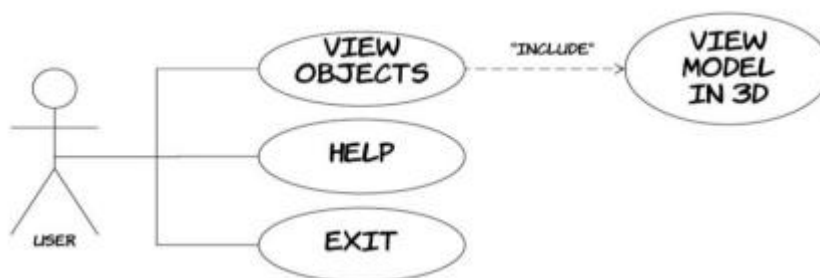


Рис. 2.7. Use Case diagram для додатку доповненої реальності

Подальша логіка виконання кожної дії представлена на Activity діаграмі для додатку доповненої реальності (рис. 8). На ній відображено послідовність подій — від сканування маркера до завершення візуалізації фізичного закону.

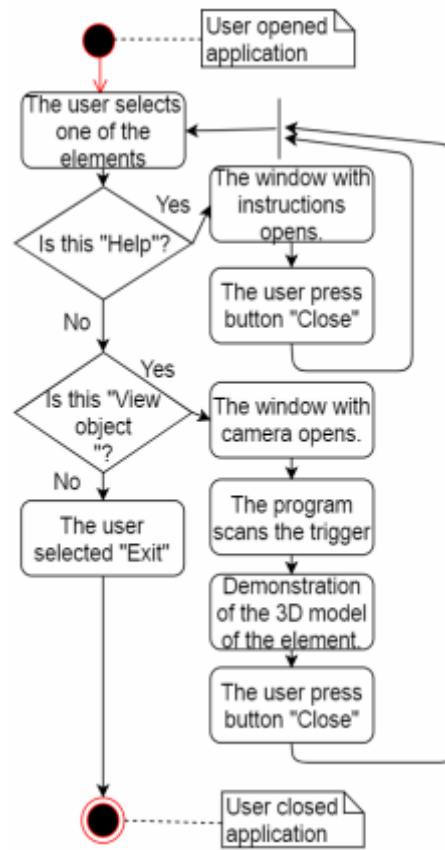


Рис. 2.8. Activity diagram для додатку доповненої реальності

Нарешті, Class діаграма для додатку доповненої реальності (рис. 9) ілюструє основні класи програмного забезпечення, їхні властивості та зв'язки між ними. Це допомагає зрозуміти внутрішню структуру проекту, логіку коду й взаємозалежність компонентів [17].

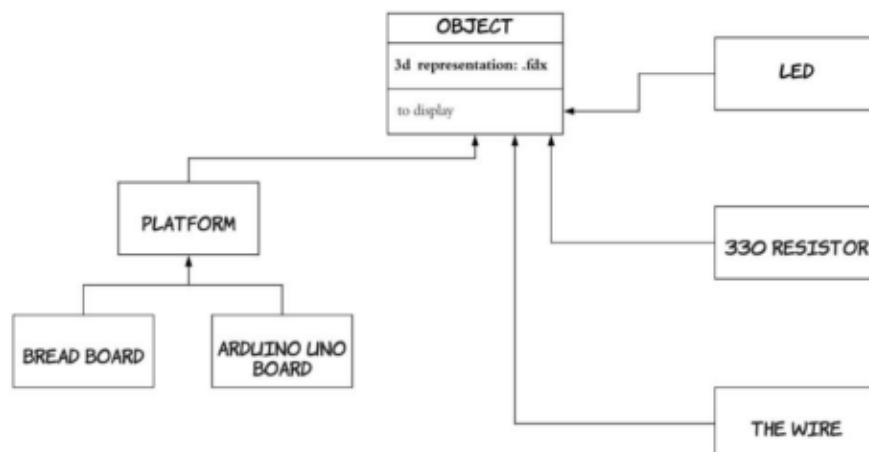


Рис. 2.9. Class diagram для додатку доповненої реальності

2.3. Моделювання Unity 3D об'єктів візуалізації фізичних законів з використанням технології доповненої реальності.

Для відтворення навчальних експериментів було змодельовано низку 3D-об'єктів, які відповідають елементам фізичного середовища: тіла, прилади, поверхні, вектори сил та траєкторії руху. У процесі роботи використовувалися компоненти Rigidbody, BoxCollider, MeshRenderer, Line Renderer та спеціальні скрипти на C#, що керували рухом об'єктів, взаємодією тіл і зміною фізичних параметрів.

Для прикладу, у сценарії демонстрації першого закону Ньютона куб рухається з постійною швидкістю без дії зовнішніх сил, доки не зіштовхується з іншим тілом. У моделі другого закону Ньютона до цього ж куба прикладається змінна сила, що впливає на прискорення. Третій закон Ньютона ілюструється взаємодією двох кульок, які відштовхуються з однаковими силами в протилежних напрямках.

Фізика руху реалізована за допомогою рушія PhysX, який забезпечує точні обчислення зіткнень, тертя, сили тяжіння й інерції. Це дозволяє створювати максимально реалістичні моделі, наближені до реальних експериментів, які виконуються у шкільному курсі фізики.

Для покращення взаємодії користувача з додатком у сценах було створено інтерфейс керування — слайдери, кнопки та текстові поля, які дозволяють змінювати фізичні параметри (силу, масу, коефіцієнт тертя, швидкість) без перезапуску сцени. Це робить експерименти більш інтерактивними й дозволяє студентам самостійно досліджувати вплив різних параметрів на результат.

Технологія доповненої реальності реалізована з використанням AR Foundation, яка підтримує роботу з ARCore (для Android) і ARKit (для iOS). Візуалізація відбувається за допомогою AR Camera, яка поєднує зображення з реального світу з віртуальними 3D-об'єктами. Для активації конкретного фізичного експерименту застосовуються QR-коди або зображення-маркери, що виконують роль тригерів для запуску певного сценарію.

Для організації роботи додатку створено логічну архітектуру сцени Unity, яка поділена на кілька основних модулів):

- AR Session Origin — відповідає за просторове позиціонування віртуальних об'єктів у реальному середовищі.
- AR Camera — відображає доповнену сцену, об'єднуючи реальний відеопотік із 3D-об'єктами.
- Environment — містить базові об'єкти сцени, наприклад, площину, поверхню або стіл для взаємодії тіл.
- Objects — набір фізичних моделей (куб, кулі, стрілки сили, маркери траєкторій).
- UI Canvas — панель керування параметрами експерименту.
- Scripts — C#-скрипти, що описують логіку руху, зіткнень і взаємодії об'єктів.
- Light — джерела освітлення, що забезпечують візуальну реалістичність сцени.

Завдяки такій структурі можна легко змінювати конфігурацію сцени, додавати нові об'єкти або розширювати можливості програми. Кожен компонент функціонує незалежно, що полегшує відлагодження та повторне використання коду.

Розділ 3. Проектування та розроблення 3D-об'єктів візуалізації фізичних законів з курсу фізики 9 клас

3.1. Сценарії демонстрації фізичних процесів у комп'ютерних програмах навчального призначення

У процесі розроблення навчального застосунку з візуалізації законів і явищ фізики за технологією доповненої реальності реалізовано низку інтерактивних сценаріїв, які демонструють основні положення механіки, що вивчаються у курсі фізики 9 класу. Кожен сценарій створено у середовищі Unity 3D із використанням фізичного рушія PhysX та компонентів AR Foundation, що забезпечують точне моделювання руху тіл, взаємодію об'єктів і відображення сцени у реальному просторі через камеру мобільного пристрою.

Основна логіка роботи сценаріїв реалізована за допомогою скриптів мовою C#, що керують поведінкою 3D-об'єктів, відображенням векторів, взаємодією користувача та оновленням фізичних параметрів у реальному часі.

Для всіх фізичних експериментів використовується візуалізація напрямку руху у вигляді вектора-стрілки, прикріпленої до об'єкта. Колір вектора динамічно змінюється залежно від швидкості тіла:

- зелений — мала швидкість,
- жовтий — середня,
- червоний — висока швидкість.

Окрім цього, у кожному сценарії реалізовано інформаційну панель фізичних величин, яка виводить основні параметри руху та взаємодії

об'єктів. Показники оновлюються динамічно, синхронно з процесом симуляції.

Реалізація сценарію Першого закону Ньютона

У першому сценарії на горизонтальній поверхні столу розташовано куб, який за замовчуванням має вимкнене тертя. Користувач може натиснути кнопку «Поштовх», після чого до куба прикладається сила, що надає йому руху.

При відсутності тертя куб рухається рівномірно прямолінійно, що відображає інерційність тіл. Після активації параметра сили тертя рух починає поступово гальмуватися, доки тіло не зупиниться, демонструючи вплив зовнішніх сил.

Для користувача передбачено панель фізичних величин, на якій у режимі реального часу відображаються:

- сила поштовху F ,
- швидкість руху v ,
- маса куба m ,
- коефіцієнт тертя μ .

Технічна реалізація поштовху здійснюється методом:

```
rigidbody.AddForce(Vector3.forward * forceValue, ForceMode.Impulse);
```

а значення коефіцієнта тертя регулюється зміною властивостей матеріалу `PhysicMaterial`.

Реалізація сценарію Другого закону Ньютона

Другий закон Ньютона демонструється за допомогою того самого куба, масу якого користувач може змінювати через елемент керування у

графічному інтерфейсі. Після задання маси та натискання кнопки «Поштовх», до куба прикладається однакова сила, як і у попередньому експерименті.

Користувач спостерігає, як при збільшенні маси куб рухається повільніше, а при зменшенні — прискорюється швидше, що візуалізує залежність: $a = F/m$.

Вектор швидкості змінює свій колір залежно від прискорення, що створює додаткову візуальну асоціацію між силою і швидкістю руху.

У панелі фізичних величин відображаються ті самі параметри, що і для першого закону Ньютона:

- сила поштовху F ,
- швидкість v ,
- маса куба m ,
- коефіцієнт тертя μ .

Реалізація сценарію Третього закону Ньютона

У цьому сценарії користувач може додати другий куб, який розташовується поруч із першим. Обидва куби мають фізичні компоненти `Rigidbody` та `BoxCollider`. Після натискання кнопки «Поштовх» перший куб починає рух і стикається з другим.

У момент зіткнення куби відскакують у протилежні сторони, що наочно демонструє третій закон Ньютона — рівність і протилежність сил дії та протидії.

Подія зіткнення обробляється методом `OnCollisionEnter()`, у якому фіксуються значення імпульсу та сили взаємодії. Для обох тіл у цей

момент на екрані з'являються вектори сили, спрямовані у протилежні боки.

У панелі фізичних величин відображаються:

- сила поштовху F ,
- швидкість v ,
- маса куба m ,
- коефіцієнт тертя μ .

Це дозволяє користувачу одночасно спостерігати числові значення параметрів та їх фізичне відображення у просторі.

Реалізація сценарію Кінематики рівноприскореного руху

У сценарії кінематики рівноприскореного руху використовується куля, що рухається по горизонтальній поверхні. Користувач може задати два параметри: початкову швидкість v_0 та прискорення a .

- Якщо $a=0$, куля рухається рівномірно, не змінюючи швидкості.
- Якщо $a>0$, відбувається поступове пришвидшення.
- Якщо $a<0$, куля сповільнюється і зупиняється.

Рух розраховується за рівняннями:

$$v = v_0 + at, s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Залежно від параметрів, програма у реальному часі будує графік зміни швидкості та шляху у часі, що дозволяє учню аналізувати процес.

У цьому сценарії панель фізичних величин відображає:

- поточну швидкість v ;
- початкову швидкість v_0 ;
- прискорення a .

Колір вектора руху над кулею змінюється залежно від швидкості, що створює ефект наочного зв'язку між числовими значеннями та візуальним сприйняттям руху.

3.2. Проектування 3D об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів курсу фізики 9 клас

Під час розроблення 3D об'єктів враховувалися як методичні, так і технічні вимоги: спрощена геометрія моделей для збереження продуктивності, чітке відображення динаміки руху, можливість масштабування, а також інтеграція елементів візуального підкріплення (вектори сили, швидкості тощо).

У межах програмного середовища Blender були створені такі основні 3D об'єкти для реалізації сценаріїв вивчення законів фізики:

1. Куб — основний об'єкт для демонстрації 1–3 законів Ньютона.

Модель куба розроблено з використанням базових примітивів Unity, з адаптованими фізичними параметрами (RigidBody, Collider).

Поверхня куба має нейтральну текстуру для уникнення візуальних відволікань.

У проекті реалізовано налаштування маси об'єкта, коефіцієнта тертя та сили поштовху. Для візуалізації напрямку руху використовується вектор-шкала, який динамічно змінює колір залежно від швидкості:

- зелений — рух з малою швидкістю,

- жовтий — середня швидкість,
- червоний — велика швидкість.

2. Другий куб — використовується у сценарії демонстрації третього закону Ньютона.

Обидва куби мають фізичні колайдери, що дозволяє відтворювати реалістичну взаємодію під час зіткнення. Візуально відображається відштовхування тіл, що демонструє рівність дії та протидії.

3. Куля — об'єкт для моделювання кінематики рівноприскореного руху.

Модель кулі реалізовано з плавною анімацією руху по горизонтальній площині. Для неї передбачено змінні параметри: початкова швидкість v_0 , прискорення a , поточна швидкість v . Залежно від введених користувачем даних, програма візуалізує рух кулі та будує графік зміни швидкості з часом.

Для покращення навчальної взаємодії було спроектовано панель фізичних параметрів, що дозволяє користувачеві в реальному часі відстежувати зміну величин:

- Для 1–3 законів Ньютона: сила поштовху, швидкість, маса куба, коефіцієнт тертя.
- Для кінематики рівноприскореного руху: початкова швидкість v_0 , поточна швидкість v , прискорення a .

Усі моделі були створені з урахуванням зручності сприйняття на екрані мобільного пристрою або через AR-окуляри. Розміщення об'єктів у просторі визначається відносно AR-маркера, що забезпечує стабільну

фіксацію сцени та коректне масштабування при зміні відстані до користувача.

Додатково для кожного об'єкта застосовано візуальні ефекти, що підвищують інформативність експерименту — такі як динамічне відображення траєкторії руху та зміна кольору векторів у залежності від величини швидкості або прискорення.

3.3. Створення програмного забезпечення візуалізації дії фізичних законів курсу фізики 9 клас

Спочатку потрібно створити 3D-об'єкти, для цього було використано редактор 3D-об'єктів Blender за його зручність та широкий функціонал. Куб та куля це є геометричним примітивом тож їх створювати не потрібно, а для створення робочої поверхні (стола) та стрілки у середовищі Blender є купа інструментів та різних модифікаторів (рисунок 3.1).

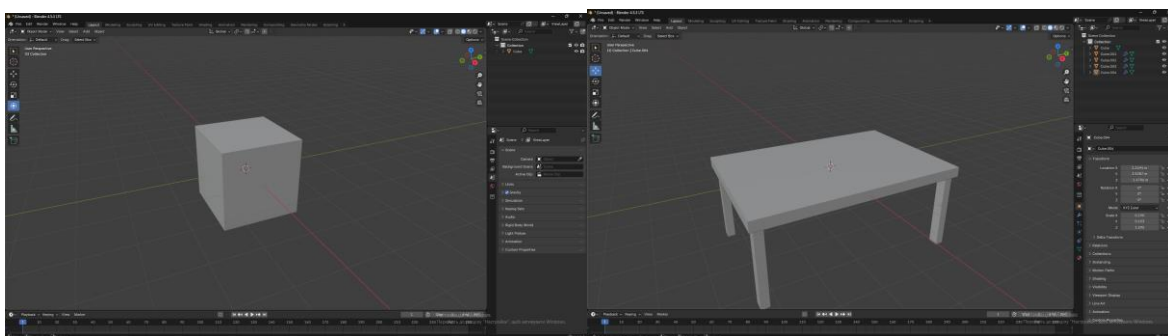


Рис. 3.1. Створення 3D об'єкта стіл з геометричного примітиву куба.

3D-модель стрілочки було використано з Unity Asset Store, платформи на якій користувачі з усього світу розповсюджують свої моделі безкоштовно або за плату. Після того як ми отримали усі потрібні моделі їх потрібно експортувати у середовище Unity з розширенням .fbx де вже у

самому рушії надати їх фінального вигляду за допомогою матеріалів та текстур (рисунок 3.2).

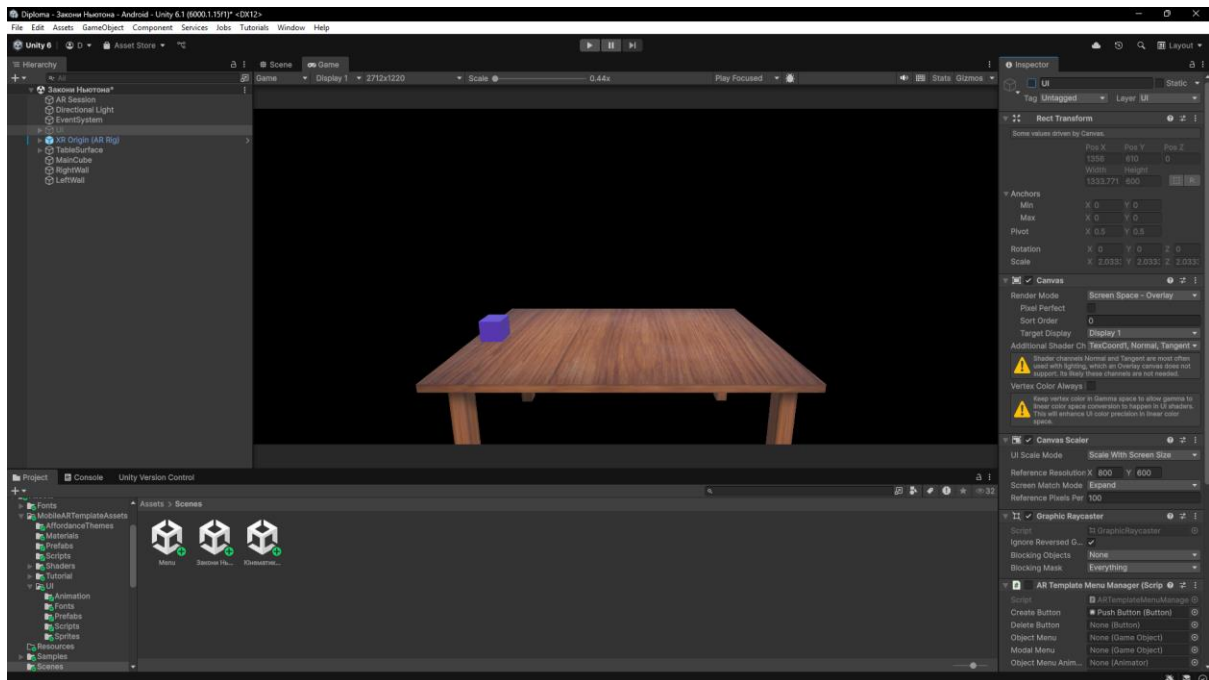


Рис. 3.2. Надання об'єктам фінального вигляду за допомогою матеріалів та текстур.

Наступним кроком було створення UI (User Interface) який включає в себе:

- Панель фізичних величин;
- Панель з графіком;
- Панель з інформацією та формулами про закон;
- Панель налаштування (сили поштовху, маси тощо).

На рисунку 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 можна побачити готовий UI для 1,2 та 3 законів Ньютона та кінематики рівноприскореного руху.

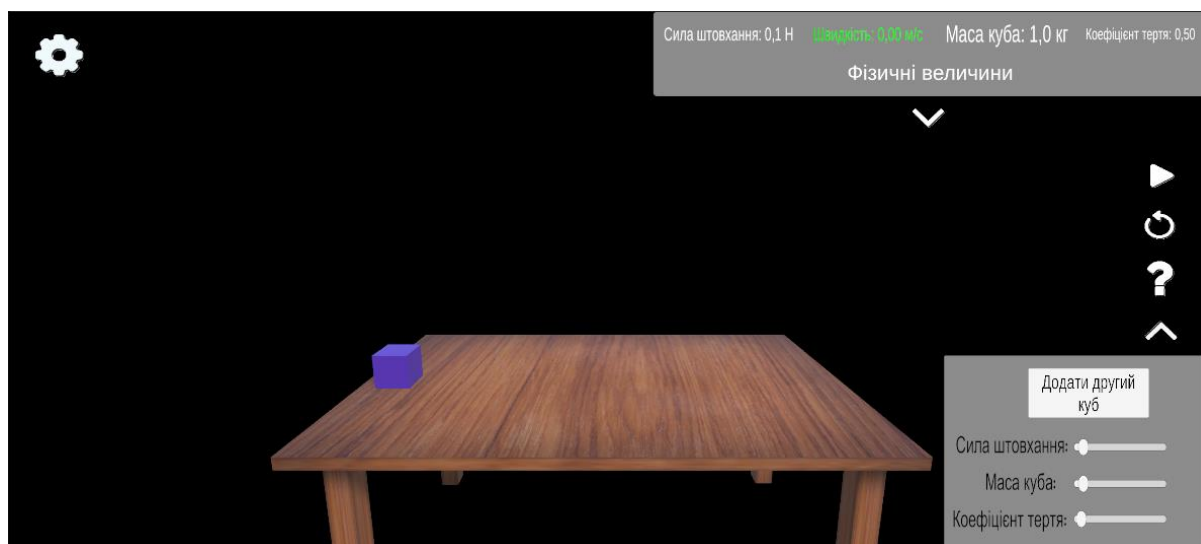


Рис. 3.3. Основний UI для 1,2 та 3 закону Ньютона.

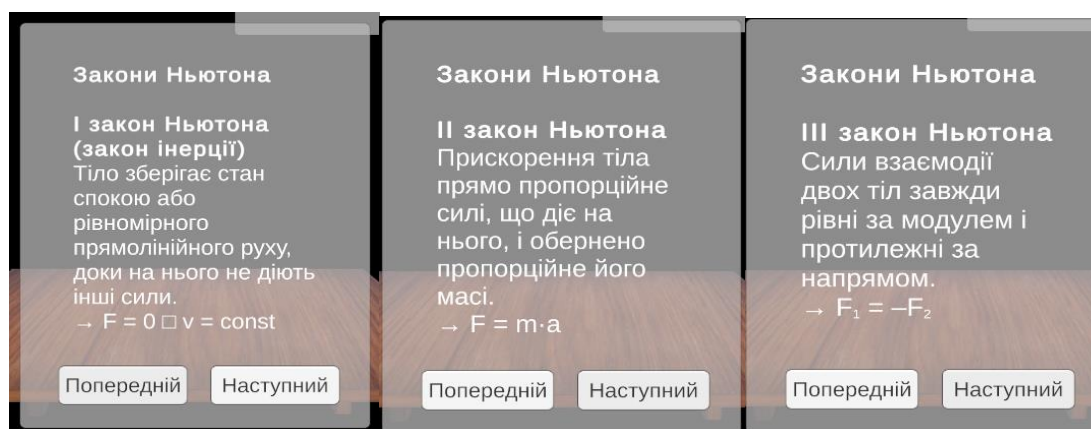


Рис 3.4. Інфопанель для 1,2 та 3 закону Ньютона.

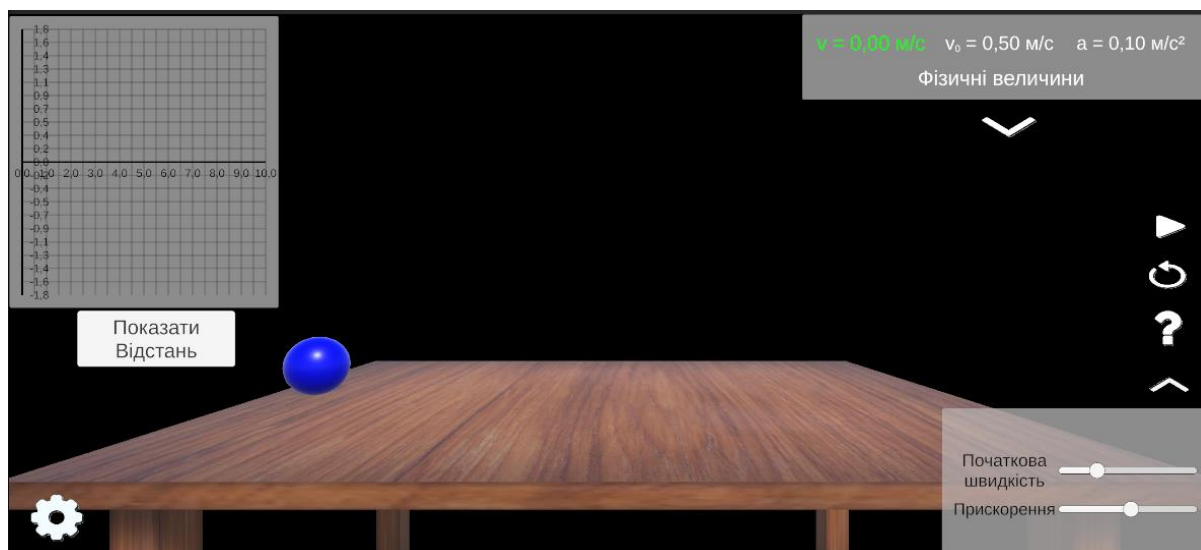


Рис. 3.5. Основний UI для кінематики рівноприскореного руху.

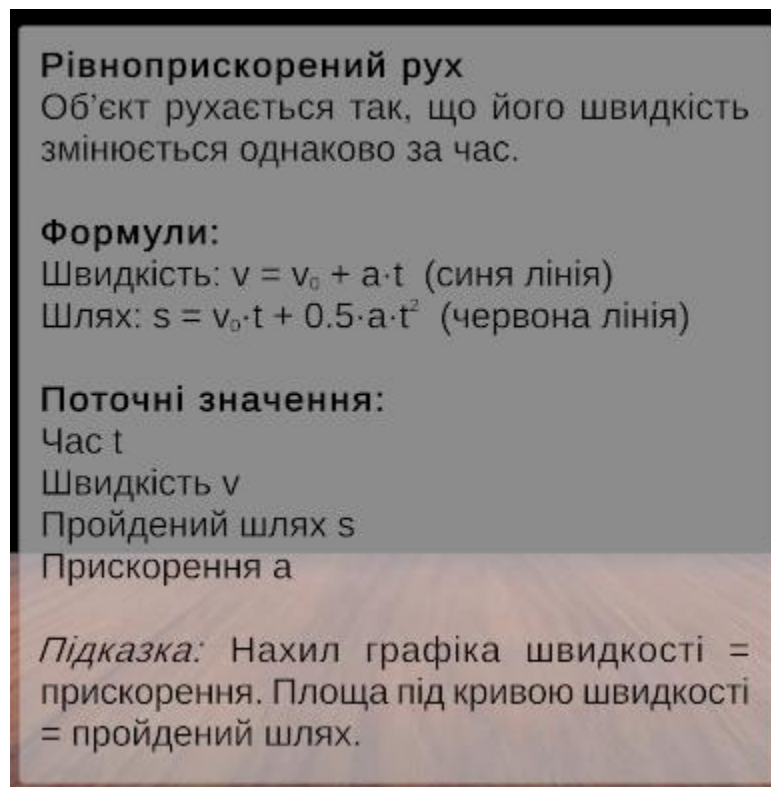


Рис 3.4. Інфопанель для кінематики рівноприскореного руху.

Наступним кроком є написання скриптів для відповідної роботи додатку, для цього використовуємо мову C# та середовище Visual Studio 2022. Вже після написання скриптів залишається створити меню та випробувати додаток (рисунки 3.5, 3.6, 3.7 та 3.8).



Рис 3.5. Головне меню.

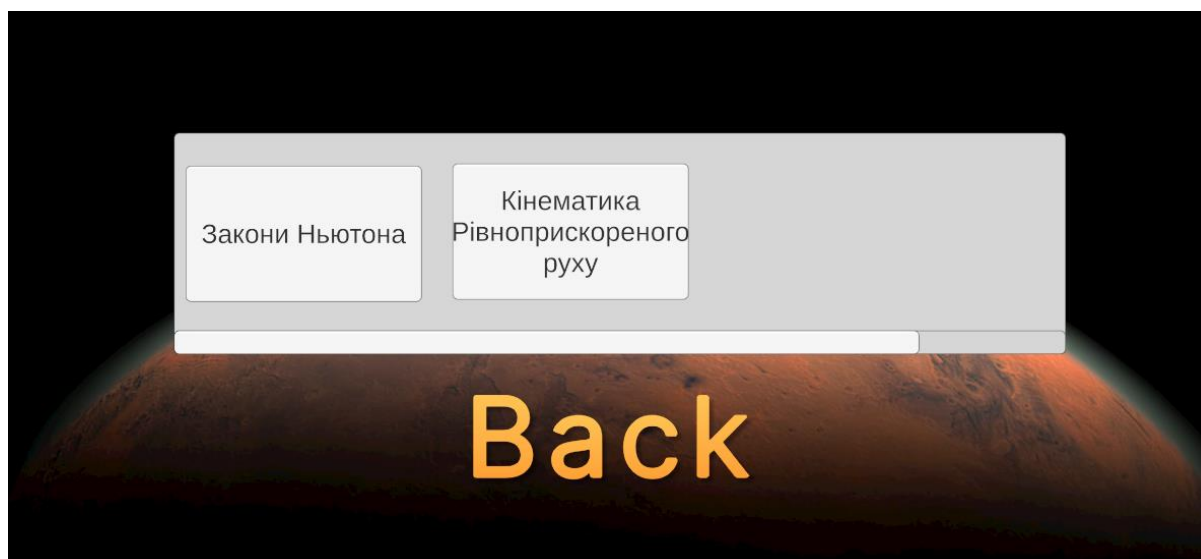


Рис 3.6. Вибір закону або явища.

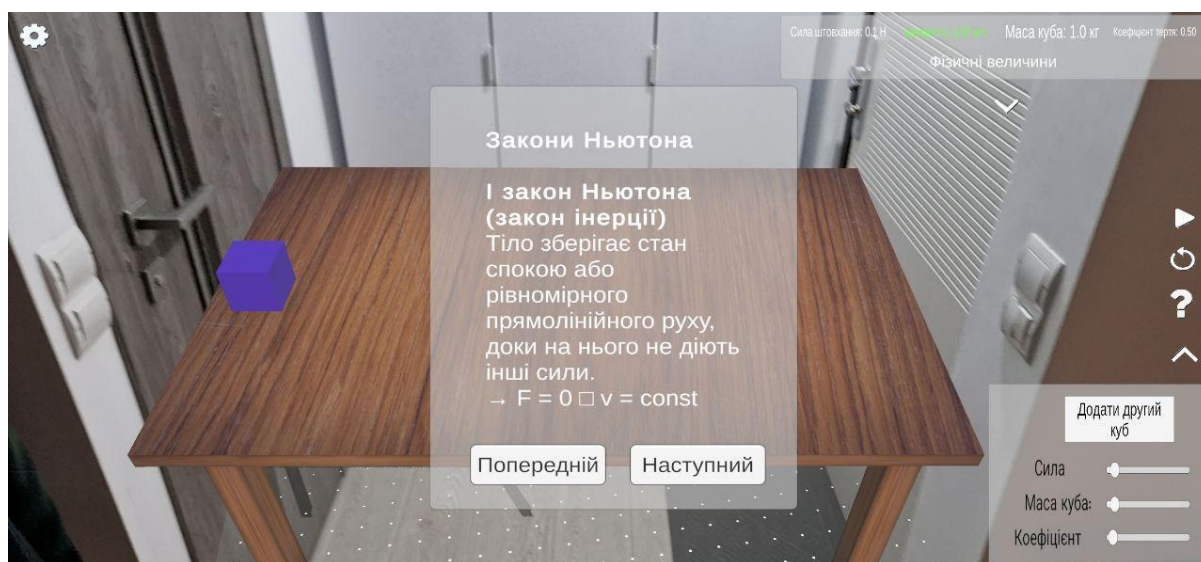


Рис 3.7. 1, 2 та 3 закони Ньютона.

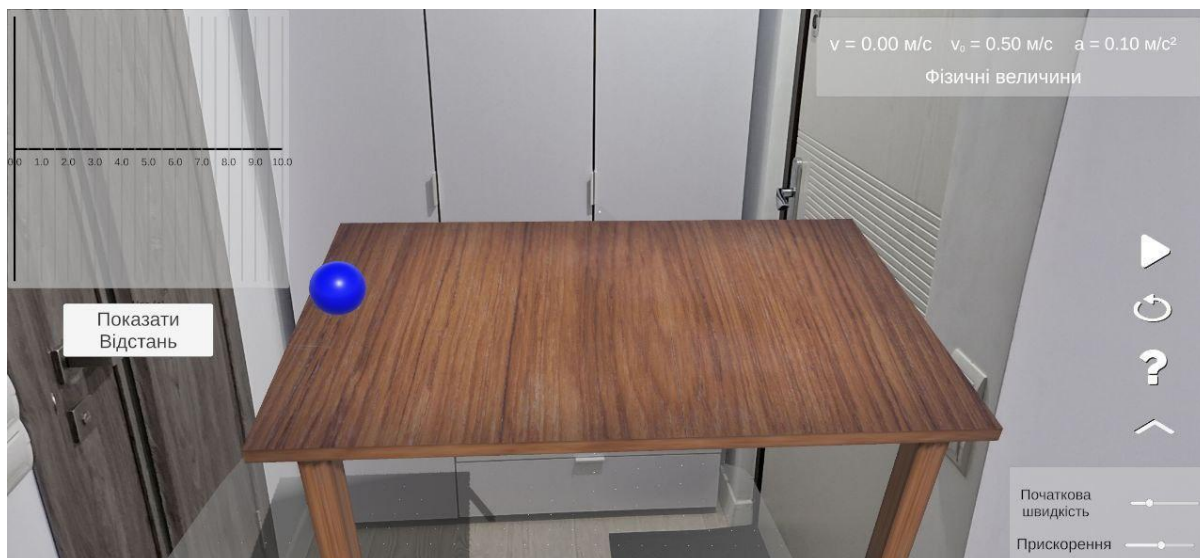


Рис 3.8. Кінематика рівноприскореного руху.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було розглянуто можливості використання технології доповненої реальності для візуалізації фізичних законів і явищ у курсі фізики 9 класу. Було проаналізовано принципи роботи доповненої реальності, її переваги у навчальному процесі та сучасні інструменти для створення AR-застосунків. У процесі роботи досліджено поняття ігрового рушія, його роль у розробці інтерактивних навчальних середовищ та наведено приклади його застосування. Було створено 3D-моделі лабораторного обладнання з курсу фізики, які використовуються для

демонстрації дослідів у форматі доповненої реальності. На основі отриманих результатів розроблено програмний проєкт — AR-додаток для візуалізації фізичних явищ 9 класу, що дозволяє учням у зручній та наочній формі досліджувати закони фізики, взаємодію тіл та роботу приладів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://teach-hub.com/scho-take-dopovnena-realnist/>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality#History
3. https://www.interaction-design.org/literature/article/augmented-reality-the-past-the-present-and-the-future#a_brief_history_of_augmented_reality_%28the_past%29-0
4. <https://ulab.sumdu.edu.ua/uk/shho-take-dopovnena-realnist-ar-i-yak-ce-pracjuie>
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality#Possible_applications
6. <http://surl.li/qsinh>
7. <https://medium.com/@pusalabhuvansaikrishna/hardware-for-augmented-reality-7dc4db76f230>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine
9. <https://gamedev.dou.ua/blogs/how-and-why-to-create-a-game-engine/>
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine
11. <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/developing-for-handheld-augmented-reality-experiences-in-unreal-engine>
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))
13. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@5.1/manual/index.html>
14. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arcore@5.1/manual/index.html>
15. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arkit@5.1/manual/index.html>
16. **Kravtsov, H., & Pulinets, A.** (2020). *Interactive Augmented Reality Technologies for Model Visualization in the School Textbook*. Kherson State University.

17. **Osipova, N., Kravtsov, H., Hniedkova, O., Lishchuk, T., Davidenko, K.** (2019). *Technologies of Virtual and Augmented Reality for High Education and Secondary School*. Kherson State University.
18. Kravtsov, G., Baiev, A., Lemeshchuk, O., & Orlov, V. (2017). Multimedia Editor of Virtual Physical Laboratory in Distance Learning System «Kherson Virtual University». Information Technologies in Education.