

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка**

Фізико-математичний факультет

Кафедра фізики та методики її навчання

Кваліфікаційна робота

**ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА «UNIVERSE
SANDBOX» ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ АСТРОНОМІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ АСТРОНОМІЇ**

Спеціальність 014 Середня освіта (за предметними спеціальностями)

Освітня програма «Середня освіта (Фізика та астрономія, математика)»

**Здобувача другого (магістерського) рівня
вищої освіти**

Садівника Владислава Олеговича

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

кандидат технічних наук, доцент

Мохун Сергій Володимирович

**РЕЦЕНЗЕНТ: доктор філософії, викладач
кафедри змісту і методик навчальних
предметів Тернопільського обласного
комунального інституту післядипломної
педагогічної освіти**

Гайда Василь Ярославович

Тернопіль 2025

АНОТАЦІЯ

Садівник В. О. Використання програмного середовища «Universe Sandbox» для візуалізації складних астрономічних процесів під час вивчення астрономії. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 014 Середня освіта. ТНПУ ім. В. Гнатюка. Тернопіль, 2025. 55с.

Магістерська робота складається із вступу, двох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У першому розділі розкрити психолого-педагогічні основи використання комп'ютерних симуляцій у навчанні природничих наук та здійснено аналіз програмних засобів, що застосовуються для візуалізації астрономічних явищ.

В другому розділі розроблено методику використання програмного середовища Universe Sandbox під час вивчення окремих тем астрономії та наведено приклади навчальних занять із використанням цієї симуляції.

Ключові слова: освітній процес, астрономія, візуалізація, симуляція, Universe Sandbox.

ABSTRACT

Sadivnyk V. O. Using the «Universe Sandbox» software environment to visualize complex astronomical processes during the study of Astronomy. Qualification thesis for the degree of «Master» in the specialty 014 Secondary Education. TNPU named after V. Hnatiuk. Ternopil, 2025. 55 p.

The master's thesis consists of an introduction, two chapters, conclusions, and a list of references.

The first section reveals the psychological and pedagogical foundations of using computer simulations in teaching natural sciences and analyses the software tools used to visualise astronomical phenomena.

The second chapter develops a methodology for using the Universe Sandbox software environment when studying specific topics in astronomy and provides examples of educational activities using this simulation.

Keywords: educational process, astronomy, visualisation, simulation, Universe Sandbox.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЙ І СИМУЛЯЦІЙ У НАВЧАННІ АСТРОНОМІЇ.	7
1.1. РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ І СИМУЛЯЦІЙ У ВИВЧЕННІ ПРИРОДНИЧИХ НАУК.	7
1.2. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ВІЗУАЛІЗАЦІЙ У НАВЧАННІ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН.....	10
1.3. СПЕЦИФІКА ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЙ І СИМУЛЯЦІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АСТРОНОМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ЯВИЩ.....	14
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	18
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ UNIVERSE SANDBOX У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ.....	19
2.1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АСТРОНОМІЇ.....	19
2.2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ УРОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ UNIVERSE SANDBOX.	30
2.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	47
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	50
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Сучасне вивчення астрономії вимагає від учнів розуміння дуже складних речей у просторі – як рухаються планети, як помирають зорі чи формуються галактики. Ці процеси важко пояснити лише за допомогою підручників та схем та неможливо безпосередньо спостерігати в аудиторії.

Тому наше дослідження зосереджене на тому, як зробити вивчення астрономії цікавішим та зрозумілішим за допомогою сучасних технологій. Ми пропонуємо використовувати комп'ютерну програму «Universe Sandbox». Ця програма дозволяє учням не просто дивитися на картинки, а самостійно моделювати космічні явища, бачити їх у дії та змінювати параметри, щоб зрозуміти, чому саме так відбувається.

Актуальність. Сучасна освіта вимагає впровадження інноваційних інформаційних технологій, які забезпечують можливість відтворення складних природничих процесів у доступній для учнів формі. Особливої актуальності це набуває під час вивчення астрономії, оскільки більшість явищ та об'єктів не можуть бути безпосередньо продемонстровані в умовах навчального класу. Традиційні методи навчання (лекції, друковані матеріали, статичні схеми) не завжди здатні забезпечити достатній рівень наочності та динаміки у відтворенні космічних процесів.

Програмне середовище Universe Sandbox відкриває нові можливості для візуалізації та моделювання явищ Всесвіту, що сприяє формуванню цілісного наукового світогляду, розвитку пізнавального інтересу та підвищенню ефективності засвоєння знань.

Мета роботи: розробити методику використання програмного середовища Universe Sandbox для візуалізації складних астрономічних процесів і перевірити її ефективність у навчальному процесі.

Завдання дослідження.

1. Розкрити психолого-педагогічні основи використання комп'ютерних симуляцій у навчанні природничих наук.

2. Здійснити аналіз програмних засобів, що застосовуються для візуалізації астрономічних явищ.
3. Дослідити функціональні можливості Universe Sandbox як навчального середовища.
4. Розробити методику використання програмного середовища Universe Sandbox під час вивчення окремих тем астрономії.
5. Створити приклади навчальних занять із використанням симуляцій у Universe Sandbox.
6. Перевірити ефективність застосування програмного середовища Universe Sandbox у процесі навчання астрономії.

Об'єктом дослідження є процес навчання астрономії у закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження – методика використання програмного середовища Universe Sandbox для візуалізації складних астрономічних процесів у навчанні астрономії.

Наукова новизна дослідження

- уточнено дидактичні можливості Universe Sandbox як інноваційного інструменту для навчання астрономії;
- розроблено авторську методику застосування симуляцій для пояснення складних астрономічних явищ;
- експериментально підтверджено ефективність використання інтерактивних моделей для підвищення рівня засвоєння знань учнів.

Практичне значення дослідження

Розроблена методика та приклади навчальних занять можуть бути використані вчителями астрономії у закладах загальної середньої та позашкільної освіти. Використання Universe Sandbox у навчанні сприяє розвитку просторового мислення, формуванню наукового світогляду та підвищенню мотивації учнів до вивчення астрономії.

Структура кваліфікаційної роботи: кваліфікаційна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків та списку використаних джерел.

Апробація матеріалів дослідження: основні наукові результати, отримані в ході написання кваліфікаційної роботи, були представлені на міжнародній науково-практичній конференції «Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології, природничих наук в контексті вимог Нової української школи».

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЙ І СИМУЛЯЦІЙ У НАВЧАННІ АСТРОНОМІЇ.

1.1. РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ І СИМУЛЯЦІЙ У ВИВЧЕННІ ПРИРОДНИЧИХ НАУК.

Комп'ютерне моделювання та симуляції є одними з найважливіших інструментів сучасної наукової методології, які радикально трансформували підхід до вивчення природничих наук – фізики, хімії, біології та наук про Землю. Вони дозволяють дослідникам і учням виходити за межі можливостей традиційних експериментів,

Комп'ютерна модель – це інформаційна модель, подана у знаковій формі та реалізована за допомогою комп'ютера. Вона дозволяє досліджувати об'єкти, системи чи явища, які неможливо або небезпечно вивчати в реальному житті, за допомогою комп'ютерних програм. За допомогою комп'ютерних моделей можна проводити експерименти, отримувати дані та спостерігати за процесами в динаміці.

Візуалізація у навчанні астрономії – це процес створення, використання та інтерпретації графічних, динамічних або тривимірних (3D) зображень та моделей з метою представлення та пояснення складних астрономічних об'єктів, явищ і процесів, які є невидимими, відбуваються у великих просторових і часових масштабах, або є абстрактними.

Симуляція – це процес виконання цієї моделі в часі та просторі для вивчення її динамічної поведінки. Головна роль комп'ютерних моделей і симуляцій полягає у наданні можливості досліджувати системи, які є надто великими, надто малими, надто небезпечними або фінансово недоступними для безпосереднього емпіричного вивчення [12].

Моделювання дозволяє відтворювати та аналізувати умови, недосяжні в лабораторних умовах. Наприклад, вивчення термоядерних реакцій у надрах зірок, динаміки галактик або хімічних процесів при екстремально високому тиску (як у ядрі Землі). У біології це дозволяє симулювати еволюцію видів або поширення вірусів протягом десятиліть чи століть.

Симуляції дозволяють проводити тисячі «віртуальних експериментів» з мінімальними витратами ресурсів, часу та без необхідності фізичного будівництва дорогих установок (наприклад, прискорювачів частинок чи експериментальних заводів). Це також має вирішальне етичне значення у біомедичних дослідженнях: моделювання клінічних випробувань або токсикологічних ефектів на комп'ютері значно скорочує необхідність у тестуванні на тваринах чи людях [7].

Ключові напрями застосування у природничих науках

Фізика та науки про Землю

- Кліматичне моделювання: глобальні та регіональні кліматичні моделі є основою для прогнозування зміни клімату, аналізу ефективності заходів щодо скорочення викидів та оцінки наслідків.
- Гідрологія: моделі використовуються для прогнозування повеней, управління водними ресурсами та вивчення забруднення підземних вод.
- Фізика елементарних частинок: комп'ютерні моделі є невід'ємною частиною обробки даних з великих експериментів, симулюючи зіткнення частинок для ідентифікації нових фізичних явищ.

Хімія та матеріалознавство

- Молекулярна динаміка (МД): МД-симуляції дозволяють відстежувати рух атомів і молекул у часі, надаючи мікроскопічне розуміння хімічних реакцій, фазових переходів та властивостей матеріалів.
- Дизайн матеріалів: обчислювальна хімія дозволяє розробляти нові матеріали з бажаними властивостями (наприклад, надпровідники, каталізатори, полімери) до їх фізичного синтезу, що значно прискорює інноваційний цикл.

Біологія та біомедицина

- Структурна біологія: моделювання згортання білків і взаємодії ліків з організмом є центральним у розробці нових лікарських засобів.

- Системна біологія: складні мережеві моделі використовуються для симуляції функціонування клітин, органів та цілих організмів, дозволяючи зрозуміти, як генетичні мутації впливають на метаболічні шляхи.
- Епідеміологія: моделі SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) та їхні похідні стали критично важливими для прогнозування поширення інфекційних захворювань і планування стратегій громадського здоров'я [1].

У навчальному процесі симуляції відіграють роль «віртуальної лабораторії». Вони дозволяють здобувачам освіти проводити «неможливі» експерименти – вивчати розпад радіоактивних елементів, рух галактик або роботу серця без ризику чи потреби в дорогому обладнанні; маніпулювати параметрами моделі та спостерігати за наслідками, поглиблюючи своє розуміння зв'язку між теорією та експериментом; візуалізувати абстрактні концепції, наприклад, бачити розподіл електричного поля, рух електронів в атомі або конвекцію в мантії Землі, що важко уявити інакше.

Незважаючи на потужність, застосування комп'ютерна модель стикається з фундаментальними викликами, які становлять окрему дослідницьку область. Найважливіше завдання – це довести, що комп'ютерна модель є надійною. Цей процес поділяється на два основних етапи:

1. **Внутрішня перевірка (верифікація):** це відповідь на питання: «*Чи правильно ми побудували модель?*». На цьому етапі перевіряється, чи коректно працює сам програмний код, чи всі математичні рівняння реалізовані без помилок. Ми переконуємося, що комп'ютер правильно виконує наші інструкції.
2. **Зіставлення з реальністю (валідація):** це відповідь на питання: «*Чи відображає ця модель реальний світ?*». Тут ми порівнюємо результати, отримані під час симуляції, з реальними експериментальними даними чи природними спостереженнями.

Якщо результати збігаються, модель вважається адекватною і їй можна довіряти.

У дуже складних системах (наприклад, турбулентність, клімат) завжди присутня невизначеність вхідних даних (ми не знаємо всіх параметрів ідеально). Тому вченим необхідно розробляти спеціальні методи, щоб кількісно оцінити, наскільки велика може бути похибка в кінцевому результаті через цю неточність [3].

1.2. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ВІЗУАЛІЗАЦІЙ У НАВЧАННІ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН

У навчанні природничих дисциплін, особливо таких, як астрономія, фізика чи біологія, ми часто стикаємося з явищами, які неможливо побачити або доторкнутися: невидимі орбіти, динаміка молекул, формування чорних дір або зміна клімату протягом тисячоліть. У таких випадках традиційні методи – статичні схеми та текстові описи – часто призводять до перевантаження учнів, змушуючи їх будувати складні моделі «з нуля» [6].

Інтерактивна візуалізація (наприклад, симуляції, віртуальні лабораторії, 3D-моделі) виступає в ролі «космічного корабля знань». Вона не лише демонструє результат, але й дозволяє учневі впливати на процес, перетворюючи його з пасивного спостерігача на активного дослідника. Розгляд психолого-педагогічних аспектів є критично важливим для розуміння того, як саме цей інструмент оптимізує засвоєння складного навчального матеріалу.

Психологічні основи ефективності інтерактивних візуалізацій.

Ключова перевага візуалізацій криється в тому, як вони взаємодіють із людським мозком, оптимізуючи когнітивні процеси.

Людська робоча пам'ять має обмежену ємність. Коли учень намагається уявити рух планети навколо Сонця, читаючи складний опис та одночасно

інтерпретуючи формули, його робоча пам'ять швидко вичерпується, що ускладнює засвоєння [2].

Інтерактивна візуалізація знижує це навантаження. Вона виконує функцію «зовнішньої пам'яті» або «готового візуального організатора». Наприклад, замість того, щоб уявляти, як форма еліпса орбіти пов'язана із законом збереження енергії, учень бачить це в динаміці. Це дозволяє мозку звільнити ресурси робочої пам'яті для глибинного осмислення та інтеграції нових знань замість витрачання їх на побудову базового образу.

Теорія подвійного кодування стверджує, що інформація краще засвоюється та зберігається у довготривалій пам'яті, якщо вона представлена через два незалежні канали: візуальний (образи, схеми, моделі) і вербальний (текст, мова, пояснення).

Інтерактивні симуляції ідеально реалізують це: учень *бачить* гравітаційне поле (візуальний канал) і одночасно *чує* або *читає* пояснення закону всесвітнього тяжіння (вербальний канал). Ці два канали посилюють один одного, створюючи міцніші асоціативні зв'язки у пам'яті. Це особливо важливо для запам'ятовування складних, багатоетапних процесів, як-от життєвий цикл зірки [9].

Для природничих наук, особливо астрономії, важливим є просторове мислення. Візуалізація дозволяє учням:

- Обертати об'єкти (наприклад, галактику чи молекулу ДНК) на 360°.
- Масштабувати їх (від атомного рівня до розмірів Всесвіту).
- Керувати часом (прискорювати геологічні процеси чи сповільнювати хімічні реакції).

Ця взаємодія розвиває здатність переходити від абстрактної математичної моделі до конкретного візуального образу, що є основою наукового пізнання.

Також однією з головних проблем у викладанні природничих дисциплін є наявність в учнів помилкових уявлень, які часто ґрунтуються на

повсякденному досвіді. Наприклад, в астрономії це уявлення про те, що пори року спричинені зміною відстані Землі від Сонця.

Інтерактивні візуалізації надають потужний інструмент для вирішення цієї проблеми:

Учень використовує візуалізацію, щоб перевірити своє початкове уявлення.

Симуляція демонструє результат, який суперечить очікуванням учня (наприклад, симуляція, що показує майже постійну відстань між Землею і Сонцем, але чітко демонструє нахил осі).

Інтерактивний інструмент дозволяє учневі маніпулювати змінними (наприклад, змінювати нахил осі обертання) і спостерігати, як це впливає на кліматичні зони, допомагаючи йому будувати нову, науково коректну модель [15].

Інтерактивні візуалізації, на відміну від статичних зображень, дозволяють учням бачити процеси та динаміку, а не лише стани. Це важливо для розуміння таких явищ, як фазові переходи, хімічні реакції, коливання маятника чи еволюція галактик.

Педагогічні моделі використання інтерактивних візуалізацій

Ефективність візуалізацій залежить не тільки від їх якості, але й від педагогічної моделі їх інтеграції в освітній процес.

Інтерактивні симуляції є ідеальним інструментом для реалізації підходу, заснованого на дослідженні. Учень виступає в ролі вченого: «Що станеться, якщо я збільшу масу однієї з планет у симуляції гравітації?», учень змінює параметри у візуалізації, спостерігає зміну орбіти та формулює висновок, підкріплений візуальними доказами [15].

Цей підхід, завдяки активній взаємодії, підвищує мотивацію та сприяє глибшому осмисленню матеріалу, оскільки знання здобуваються власними зусиллями, а не пасивним сприйняттям.

Візуалізації дозволяють переносити складні, абстрактні ідеї у віртуальне, але зрозуміле середовище. Це особливо важливо для астрономії:

симуляції дозволяють учневі «літати» від атома до галактики, усвідомлюючи величезні різниці у масштабах, що неможливо зробити у реальності; прискорення або уповільнення процесів (наприклад, еволюції зірки) робить їх доступними для вивчення в рамках одного уроку.

Інтерактивні інструменти підтримують саморегульоване навчання [20]. Учні можуть вибирати власний темп роботи, повторювати складні віртуальні експерименти необмежену кількість разів без ризику помилки чи поломки обладнання, зосереджуватися на тих аспектах візуалізації, які для них є найбільш складними. Це дуже корисно для учнів із різними стилями навчання та різним рівнем підготовки.

Не кожна візуалізація є ефективною. Педагогічна цінність інструменту визначається його відповідністю низці дидактичних вимог (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Вимоги до ефективної інтерактивної візуалізації

ВИМОГА	ОПИС	ПЕДАГОГІЧНИЙ ЕФЕКТ
Релевантність	Зміст візуалізації має безпосередньо відповідати навчальній меті.	Уникнення когнітивного навантаження [18].
Інтерактивність	Можливість користувача маніпулювати ключовими змінними та отримувати негайний зворотний зв'язок.	Стимулювання активного навчання [16].
Прозорість	Візуалізація повинна чітко відображати зв'язок між причиною (дія учня) та наслідком (зміна у моделі).	Підтримка формування моделей та розуміння причинно-наслідкових зв'язків.

Керованість	Користувач повинен мати можливість контролювати швидкість, масштаб і кут огляду моделі.	Забезпечення індивідуалізації та саморегульованого навчання.
Аутентичність	Модель повинна відображати реальні фізичні закони та процеси.	Забезпечення трансферу знань з віртуального середовища у реальність.

Використання інтерактивних візуалізацій у природничих дисциплінах – це не просто ілюстрація, а глибоко вкорінений у психологічні теорії навчання підхід.

1.3. СПЕЦИФІКА ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЙ І СИМУЛЯЦІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АСТРОНОМІЧНИХ ОБ’ЄКТІВ ТА ЯВИЩ

Астрономія як наука має унікальну особливість: більшість об’єктів та явищ, які вона вивчає, є недоступними для безпосереднього чуттєвого сприйняття, прямого експерименту чи маніпуляцій у класі. Ця абстрактність робить візуалізації та симуляції не просто допоміжними засобами, а важливими інструментами для формування повних та адекватних наукових уявлень у здобувачів освіти.

Найбільша цінність візуалізацій і симуляцій в астрономії полягає у їхній здатності масштабувати космічні об’єкти та події – відтворення величезних відстаней (світлові роки) або, навпаки, мікроскопічних структур (наприклад, елементи атмосфери зір) у зрозумілому для людини масштабі; моделювання процесів, які тривають мільйони років (наприклад, еволюція зір або формування Галактики) за лічені секунди, або ж, навпаки, уповільнення швидких процесів (наприклад, затемнення чи рух комети) для детального вивчення [14].

Багато ключових астрономічних понять ґрунтуються на законах фізики, які складно уявити без зовнішньої допомоги, наприклад, симуляції ефективно демонструють орбітальні рухи (закони Кеплера), припливні сили, або формування структур у Всесвіті під дією гравітації, що є набагато ефективнішим, ніж суто математичний опис; візуалізація спектрів випромінювання та поглинання допомагає учням зрозуміти, як астрономи визначають хімічний склад, температуру та швидкість руху небесних тіл, що інакше залишалося б незрозумілим набором ліній.

Інтерактивні планетарії та симулятори руху небесних тіл дозволяють прогнозувати положення Сонця, Місяця, планет та зір у будь-який момент часу і з будь-якої точки на Землі чи в космосі, що є фундаментальним для розуміння добового та річного руху.

У навчанні астрономії використовуються різні типи візуальних засобів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Типи візуальних засобів у навчанні астрономії

ТИП ВІЗУАЛІЗАЦІЇ	ПРИКЛАДИ	ПЕДАГОГІЧНА ФУНКЦІЯ
Статична	Схеми будови зірки, діаграма Герцшпрунга–Рассела.	Подання складної структури або класифікації.
Динамічна	Анімації фаз Місяця, відео про спалах на Сонці.	Демонстрація руху та розвитку подій.
Інтерактивна	Віртуальний телескоп, моделі гравітаційних систем.	Дослідницька діяльність, зміна параметрів, прогнозування результатів.

Використання інтерактивних засобів змінює саму роль учителя та учня, перетворюючи клас на простір для досліджень [5].

Інтерактивні візуалізації мають високий рівень новизни та сенсорної привабливості. Учень, який може самостійно «запустити» зіткнення двох галактик або змінити температуру газу, щоб побачити зміну його фази, відчуває потужний сплеск внутрішньої мотивації.

Це створює емоційну залученість, яка згідно з педагогічною психологією, безпосередньо корелює з глибиною засвоєння матеріалу. Коли матеріал викликає щирий інтерес (ефект «Галактичний Вау!»), навчання перестає бути обов'язком і стає відкриттям.

Інтерактивні моделі перетворюють традиційне пасивне «слухання» на активне навчання через діяльність. Учень стає віртуальним науковцем. Наприклад:

- У симуляції учень може змінювати кути нахилу планет або масу зірки та спостерігати, як це впливає на гравітаційну систему.
- У хімічній візуалізації він може змішувати віртуальні реагенти та отримувати результати без ризику справжньої хімічної помилки.

Цей підхід, відомий як кероване відкриття, дозволяє учням формулювати гіпотези, експериментувати та робити висновки, спираючись на отримані дані, а не лише на слова вчителя чи підручника. Це розвиває критичне мислення та науковий метод [8].

Інтерактивні візуалізації ефективно підтримують різні стилі навчання, що є основою диференціації:

- Візуальні учні миттєво отримують необхідну інформацію.
- Практики (ті, хто навчається через дію) отримують можливість взаємодіяти з моделлю.
- Для учнів із особливими освітніми потребами або тих, хто має мовні бар'єри, візуальна інформація є більш доступною, ніж складний текст.

Для досягнення максимального педагогічного ефекту недостатньо простої наявності інтерактивних інструментів, необхідна правильна методика їх застосування. Головний виклик полягає у тому, щоб візуалізація не стала просто яскравою, але не осмисленою «іграшкою». Вчитель має завжди

забезпечувати зв'язок між візуальною моделлю та фізичними (чи біологічними) законами, які вона ілюструє [4].

Рекомендуємо завжди починати роботу з візуалізацією з чіткого навчального питання чи гіпотези, а завершувати – обговоренням: *«Який закон підтверджує (або спростовує) те, що ми бачили у симуляції?»*

Ефективна інтеграція вимагає відмови від використання симуляції як одноразової демонстрації. Вона має бути вбудована у послідовну систему завдань:

1. Попереднє завдання: прогноз учня, заснований на теоретичних знаннях.
2. Діяльність: експеримент у симуляції.
3. Оцінювання: порівняння прогнозу з результатами симуляції, пояснення розбіжностей.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Комп'ютерне моделювання та симуляції є ключовим інструментом модернізації викладання природничих наук, забезпечуючи перехід від традиційного, пасивного засвоєння інформації до активного, діяльнісного та дослідницького навчання. Використання симуляцій забезпечує низку незаперечних переваг, що відповідають сучасним педагогічним вимогам:

Діяльнісний підхід. Симуляції перетворюють здобувачів освіти на активних експериментаторів. Можливість керувати змінними і миттєво бачити результати своїх дій значно посилює розуміння причинно-наслідкових зв'язків.

Безпека та доступність. У хімії та фізиці моделювання дозволяє проводити небезпечні або дорогі експерименти без ризику. У гідрології та епідеміології це дає змогу проводити макро-дослідження, які вимагали б великих ресурсів і часу в реальності.

Формування системного мислення. Учні бачать природничі об'єкти як складні системи, де зміна одного параметра впливає на всі інші.

Таким чином, комп'ютерні моделі та симуляції є універсальним дидактичним засобом, який підвищує якість освіти у всіх природничих науках. Вони забезпечують глибоке, контекстуальне та практично орієнтоване засвоєння матеріалу, готуючи здобувачів освіти до наукової та професійної діяльності, де моделювання є невід'ємною частиною інженерних рішень та прогнозування складних природних і соціальних процесів.

Використання інтерактивних візуалізацій, підкріплене розумінням психологічних механізмів, перетворює викладання складних природничих наук на захоплюючий та ефективний процес відкриття. Це дозволяє нам готувати не просто слухачів, а майбутніх дослідників Всесвіту.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ UNIVERSE SANDBOX У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

2.1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АСТРОНОМІЇ

Як зацікавити дітей, зробити подачу інформації більш візуалізованою та яскравою, але не перетворити урок на шоу, бо метою навчання є розуміння астрономічних явищ? Саме використання на уроках симуляцій з астрономії вважаю одним з найвдаліших інтернет-можливостей, які допомагають сьогоdnішнім здобувачам освіти побачити тонкощі багатьох процесів, «експериментальним» шляхом дослідити ці процеси, перевірити результати розв'язування задач на досліді.

Чи можуть інтернет-симуляції замінити реальне спостереження? Вважаю що ні, але вони є незамінним доповненням до нього. Багато ключових астрономічних процесів є недоступними для безпосереднього спостереження на нічному небі через їхню природу та масштаби. Я з впевненістю можу стверджувати, що використання симуляцій під час вивчення астрономії сприяє:

- підвищенню інтересу до вивчення даного предмету (урок більш видовищний, цікавий, привертає увагу до теми вивчення);
- дає можливість «побачити» процеси, які протікають у Всесвіті, розібратися в деталях цих явищ, з'ясувати їх природу (те, що раніше треба було уявляти);
- зрозуміти суть фізичних процесів, які відбуваються з на великих відстанях з великими швидкостями (за короткі проміжки часу);
- дає можливість спрогнозувати явище за умови зміни вихідних даних та побачити результат;
- показує цілісність картини природи (міжпредметні зв'язки);
- формує відчуття реальних пропорцій і відстаней, усуваючи абстрактність термінів «світловий рік» чи «парсек»;

- дає можливість управління часом – учень може прискорити мільярди років еволюції зірки, щоб побачити її перетворення на червоного гіганта або білого карлика, або навпаки, сповільнити рух астероїда, щоб зрозуміти його орбітальну механіку.

Симуляції імітують справжню наукову роботу, дозволяючи учням практикувати ключові етапи наукового методу.

- Формулювання гіпотез. Учень може поставити запитання: «Що станеться, якщо чорна діра матиме масу, рівну масі Сонця?» і самостійно перевірити цю гіпотезу в симуляції.
- Аналіз «Що, якщо...». Це дозволяє безпечно вивчати гіпотетичні чи катастрофічні сценарії, недоступні в реальності (наприклад, зіткнення галактик або наслідки зіткнення планет).
- Розвиток просторового мислення. На відміну від 2D-діаграм, інтерактивні 3D-моделі сприяють розвитку просторової візуалізації – здатності обертати та маніпулювати об'єктами в уяві, що є фундаментальною навичкою для фізика чи астронома.

Обирати інтернет-платформи з симуляціями право за вчителем.

Розглянемо деякі з них:

Проведемо аналіз даних інтернет-ресурсів (суб'єктивний).

1. Stellarium – це безкоштовний, з відкритим кодом, планетарій, який симулює зоряне небо в реальному часі. Його цінність полягає в деталізації, реалістичності та доступності [11].

Позитивні сторони:

- *Реалізм та візуалізація.* Stellarium дає змогу учням бачити надзвичайно реалістичне небо, ідентичне тому, що вони могли б побачити неозброєним оком або в телескоп. Це включає точне розташування планет, Місяця, сузір'їв та туманностей. Це посилює зв'язок між теоретичним матеріалом та реальністю.
- *Управління часом та простором.* Учитель може миттєво змінювати дату, час і географічне положення. Це дозволяє показати рух планет

протягом року, продемонструвати зміну вигляду неба під час доби (добове обертання), відтворити історичні астрономічні події (затемнення, появи комет), порівняти небо над екватором та над полюсом.

- *Конкретизація абстрактних понять.* Програма допомагає візуалізувати складні поняття, які важко уявити: екліптика, небесна сфера, система координат. Наприклад, можна увімкнути лінії сузір'їв, назви, екваторіальну сітку та горизонтальні координати, щоб чітко показати, як вимірюється положення об'єктів.
- *Багатофункціональність та мотивація.* Stellarium містить обширну базу даних об'єктів далекого космосу. Це дозволяє вийти за межі Сонячної системи, стимулюючи пізнавальний інтерес та мотивацію до поглибленого вивчення.
- *Доступність та відсутність витрат.* Програма є безкоштовною та доступною для встановлення як на персональних комп'ютерах, так і у веб-версії, що знижує бар'єри для використання в освітніх закладах.



Рис. 2.1. «Головна» сторінка програми «Stellarium»

Негативні сторони:

- *Високі вимоги до обладнання.* Хоча базова версія працює на більшості ПК, для повноцінного використання детальних текстур, реалістичних туманностей та великої кількості відображених об'єктів потрібен достатньо потужний комп'ютер та хороший проектор або великий екран.
- *Ризик відриву від реального спостереження.* Надмірна довіра до симуляції може створити ілюзію знання. Учні можуть добре орієнтуватися у Stellarium, але загубитися під справжнім нічним небом. Це протирічить меті астрономії як спостережної науки.
- *Фокус на візуальному, а не на фізиці.* Stellarium чудово демонструє вигляд об'єктів і їхнє розташування, але не завжди достатньо ілюструє фізичні процеси, що стоять за цим (наприклад, механізм гравітації, термоядерний синтез). Програма є планетарієм, а не фізичним симулятором.
- *Необхідність попередньої підготовки.* Учителю потрібно витратити час на вивчення інтерфейсу та підготовку конкретних сценаріїв для уроку, щоб запобігти хаотичному «просто розгляданню» неба учнями. Без чіткого завдання Stellarium перетворюється на засіб розваги.

2. Celestia – це інший потужний інструмент, який фокусується не лише на небі, а й на тривимірному просторі та можливості подорожувати цим простором. Це симулятор, що оперує від галактичних до планетарних масштабів [13].

Позитивні сторони:

- *Celestia дозволяє здійснювати вільні тривимірні польоти з будь-якого об'єкта до будь-якого іншого – від поверхні Землі до Плутона, а потім до центру Галактики.* Можна відобразити траєкторії планет, комет та астероїдів, спостерігаючи за їхнім рухом у реальному часі чи прискорено. Це допомагає учням візуально засвоїти закони Кеплера та зрозуміти, чому планети рухаються саме так.

- Програма містить детальні карти поверхонь планет і супутників (з певними обмеженнями на якість), що дозволяє досліджувати геологічні особливості (вулкани, кратери, долини) інших світів.
- Розширення бази знань та інтерактивне маркування. Celestia має можливість завантажувати додаткові розширення, створені користувачами (наприклад, моделі екзопланет, детальніші текстури, моделі фантастичних об'єктів). Це дозволяє наповнити урок додатковим, актуальним контентом, не обмежуючись базовою версією.

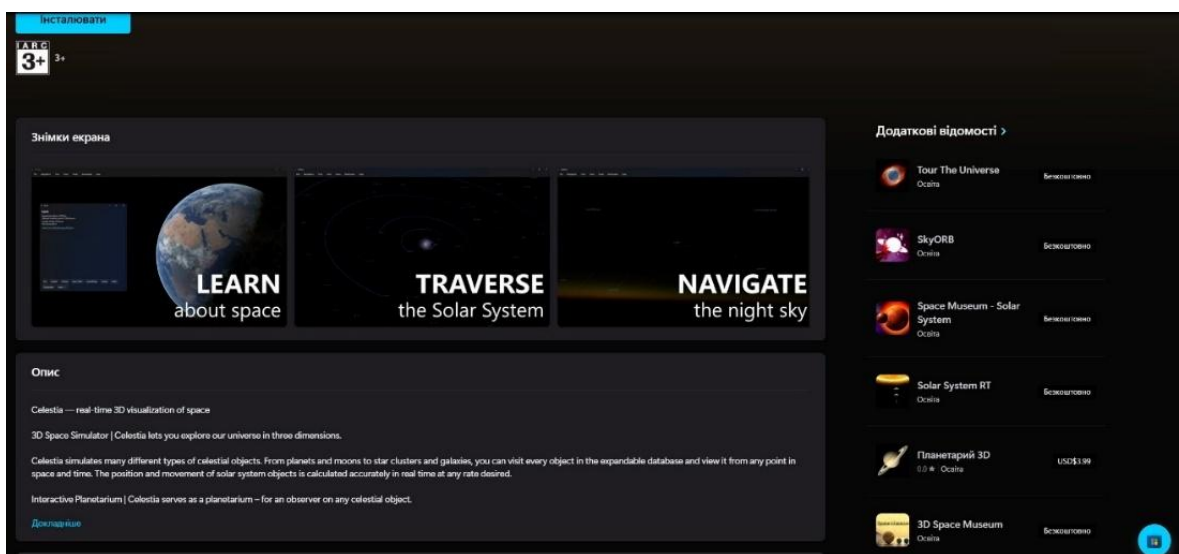


Рис. 2.2. «Головна» сторінка інтернет-сервера «Celestia».

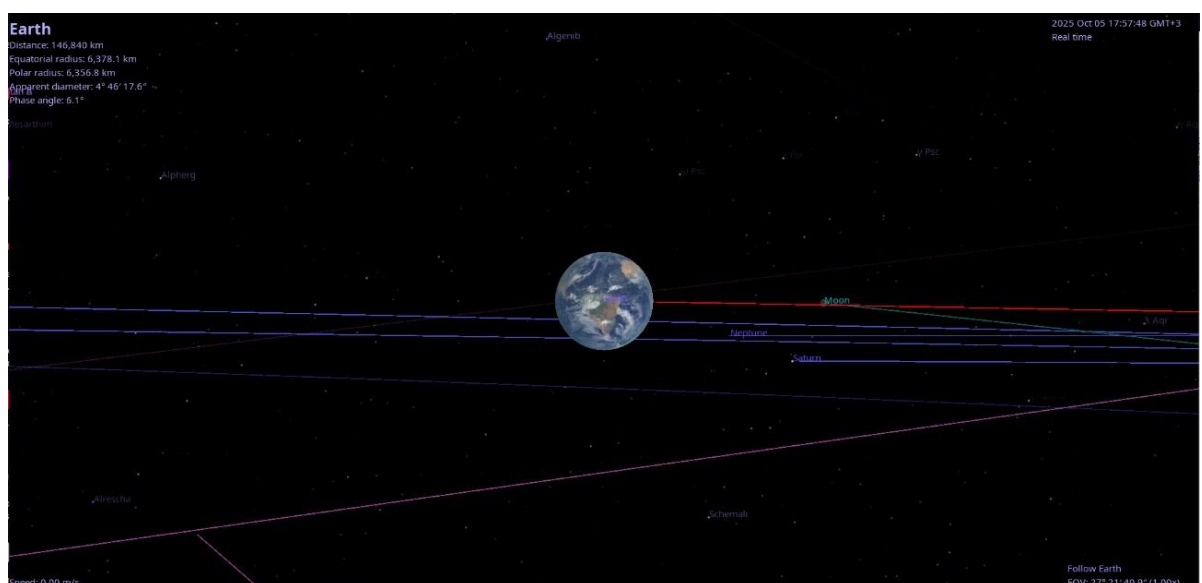


Рис. 2.3. Приклад головного вікна симуляції в Celestia.

Негативні сторони:

- *Складність інтерфейсу та навігації.* На відміну від інтуїтивно зрозумілого Stellarium, інтерфейс Celestia, орієнтований на вільний політ, може бути складним для новачків (як учнів, так і вчителів).
- *Складне управління.* Навчання польоту та точного позиціонування камери вимагає часу та практики. Учень може легко «загубитися» у просторі.
- *Недостатня увага до «Земного» неба.* Celestia не така зручна для вивчення традиційних аспектів спостережної астрономії, як-от вигляд неба з конкретної точки Землі, визначення сузір'їв, їхнього сходу та заходу чи вивчення небесних координат – тут Stellarium ефективніший.
- *Фокус на 3D-модельованні, а не на реальних даних.* Celestia часто використовує художні візуалізації та гіпотетичні моделі (особливо для екзопланет та далеких об'єктів), які можуть бути не повністю засновані на точних наукових даних. Це може призвести до ризику сприйняття гіпотез як фактів. Якщо вчитель не зробить акцент на тому, що деякі моделі (наприклад, планети, що обертаються навколо чорної діри) є лише припущеннями чи мистецькими образами, учні можуть помилково прийняти їх за науково доведені факти. Також є проблеми із точністю. Хоча рух орбіт у Celestia точний, деталізація текстур планет може поступатися спеціалізованим програмам або вимагати додаткового завантаження високоякісних розширень, що потребує часу.
- *Технічні вимоги та потреба в навчанні.* Як і будь-яка програма 3D-модельовання, Celestia вимагає більш високих технічних характеристик від комп'ютерного обладнання, ніж прості 2D-планетарії. Це може стати бар'єром для використання в класах зі старим обладнанням. Крім того, викладач повинен пройти спеціальне навчання або самостійно вивчити набір клавіатурних команд для ефективного управління польотом.

3. Star Walk 2 – є одним із найпопулярніших мобільних планетаріїв, і його використання на уроках створює особливі педагогічні умови, відмінні від симуляторів Stellarium чи Celestia [10].

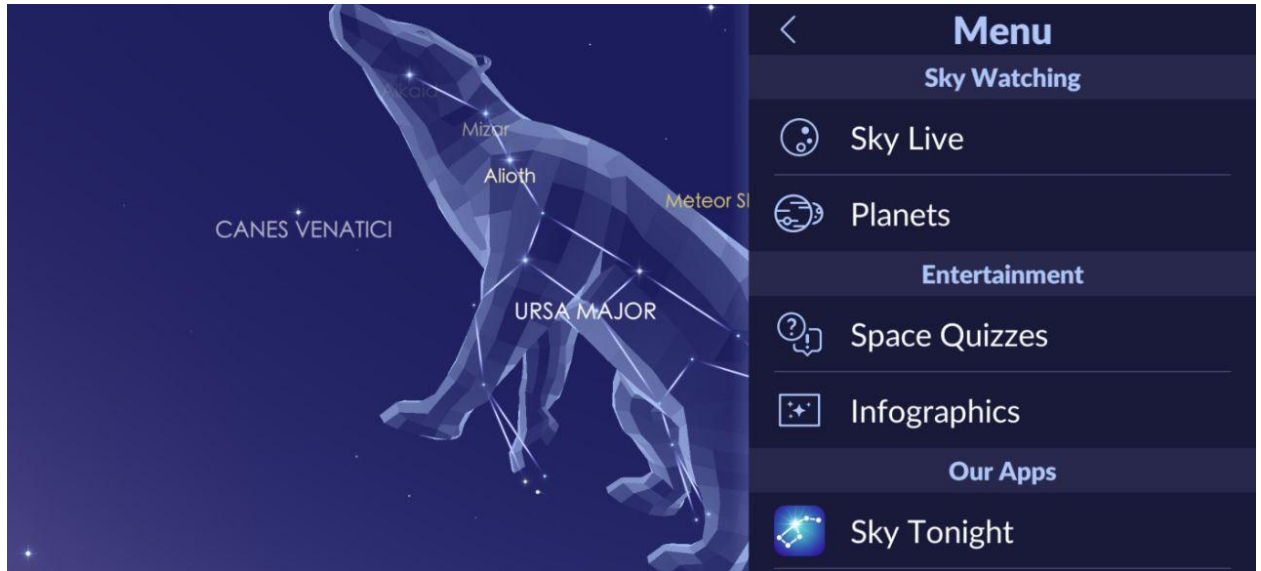


Рис. 2.4. Приклад наведення на небо додатка «Star Walk 2».

Позитивні сторони:

- *Доповнена реальність та миттєва ідентифікація.* Star Walk 2 дозволяє використовувати камеру смартфона чи планшета, накладаючи на реальне зображення неба графічну інформацію (назви зірок, лінії сузір'їв, орбіти супутників).
- *Інтуїтивне навчання:* учні можуть навести пристрій на будь-яку точку неба (вдень чи вночі) і миттєво дізнатися, що вони бачать. Це знімає ментальний бар'єр між «схемою» і «реальністю» та перетворює процес ідентифікації на захоплюючу гру-відкриття.
- *Висока візуальна привабливість та наочність.* Дизайн Star Walk 2 є дуже сучасним та орієнтованим на користувача. Яскраві, якісні зображення об'єктів далекого космосу та 3D-моделі планет викликають сильну емоційну реакцію та підвищують внутрішню мотивацію до вивчення предмета, а візуалізація руху небесних тіл у вигляді анімованих графіків допомагає легко пояснити фази Місяця або ретроградний рух планет.

- Оскільки додаток є мобільним, він підтримує ідею навчання в будь-який час і в будь-якому місці. Уроки астрономії можуть проходити не лише у класі, але й на шкільному подвір'ї. Учень може продовжити своє «домашнє завдання» ввечері, вивчаючи небо зі свого балкона, що сприяє самостійній дослідницькій роботі.

Негативні сторони:

- *Обмеження інтерактивності та фізичного моделювання.* На відміну від Stellarium або Celestia, Star Walk 2 є більше демонстраційним інструментом, ніж повноцінним симулятором.
- *Відсутність складних налаштувань.* Програма не дозволяє детально змінювати фізичні параметри (наприклад, масу зірки або швидкість комети), щоб спостерігати їхній вплив на систему. Це ускладнює вивчення небесної механіки та гравітаційних законів на глибокому рівні.
- Як комерційний продукт, він не дає можливості вчителю чи учням завантажувати спеціалізовані наукові розширення чи модифікувати параметри, як це можна робити у інших програмах. Оскільки це мобільний додаток, учні можуть легко переключитися на інші, не навчальні, додатки чи сповіщення, що порушує фокус уроку. Повна версія додатка часто є платною, а безкоштовна версія може мати рекламу або обмежений функціонал (наприклад, деякі об'єкти чи супутники можуть бути доступні лише через купівлю), що створює нерівні умови для учнів.
- *Пасивне сприйняття.* Оскільки симулятор «дає готову відповідь», учень може покладатися на додаток, а не на свої знання для визначення зірок чи сузір'їв, що може гальмувати розвиток справжніх навичок орієнтації та запам'ятовування.

4. Universe Sandbox є унікальним серед освітніх симуляторів, оскільки він фокусується не стільки на відображенні нічного неба (як Stellarium), скільки на фізичному моделюванні та гравітаційній динаміці. Це справжня «пісочниця» для вивчення того, як і чому працює Всесвіт [19]



Рис. 2.5. «Головна» сторінка інтернет-сервера «Universe Sandbox».

Позитивні сторони:

- *Акцент на фізичному моделюванні та причинно-наслідкових зв'язках.* Universe Sandbox є не просто візуалізатором, а потужним фізичним симулятором. Він дозволяє учням не лише бачити об'єкти, а й розуміти закони, що ними керують. Це ідеальний інструмент для демонстрації:
 - **Гравітаційної взаємодії:** учні можуть змінювати масу об'єкта (наприклад, Сонця чи Юпітера) і миттєво спостерігати, як це впливає на орбіти інших тіл. Це робить абстрактний закон всесвітнього тяжіння відчутним і наочним.

- **Орбітальної механіки:** можна «запускати» комети чи астероїди з різною швидкістю та під різним кутом, наочно ілюструючи, чому одні тіла виходять на еліптичні орбіти, а інші – вилітають за межі системи.
- **Термодинаміки та клімату:** симулятор дозволяє змінювати такі параметри, як температура, склад атмосфери чи осьовий нахил планети, демонструючи, як фізичні зміни впливають на придатність планети до життя.
- *Дослідження гіпотетичних та катастрофічних сценаріїв.* Це єдина програма, яка дозволяє учням безпечно вивчати сценарії «Що, якщо...». Це стимулює критичне мислення та дослідницьку діяльність. Можна зіштовхувати планети, моделювати падіння астероїда (сценарій, який призвів до вимирання динозаврів) або спостерігати за наслідками поглинання зірки Чорною дірою. Драматичні візуальні ефекти забезпечують високу мотивацію та довготривале запам'ятовування.
- *Створення власних систем.* Учні можуть створювати власні уявні планетарні системи, перевіряючи їхню гравітаційну стабільність протягом мільйонів років.
- *Надзвичайно висока залученість та інтуїтивність.* Завдяки реалістичній графіці та ігровому стилю керування, Universe Sandbox приваблює навіть тих учнів, які зазвичай пасивні на уроках. Його інтерактивність перетворює навчання на експериментальну діяльність. Інтерфейс, незважаючи на складність моделювання, досить інтуїтивний для маніпулювання ключовими параметрами.



Рис. 2.6. Приклад симуляції у «Universe Sandbox».

Негативні сторони:

- *Комерційний характер та технічні вимоги.* Це є, мабуть, найбільшими бар'єрами для використання в масовій освіті. Universe Sandbox є комерційним продуктом, що вимагає придбання ліцензії для кожного робочого місця або класу. Це є суттєвою перешкодою порівняно з безкоштовними Stellarium чи Celestia.
- *Високі вимоги до обладнання:* через необхідність обчислення фізики в реальному часі (гравітація, тепло, світло) програма високо вимоглива до графічного процесора (GPU) та центрального процесора (CPU). Вона може некоректно працювати або значно сповільнюватися на застарілих шкільних комп'ютерах, що призведе до збою уроку.
- *Непридатність для спостережної астрономії.* Програма не є планетарієм. Вона не призначена для вивчення сузір'їв, координат небесної сфери чи пошуку об'єктів на реальному нічному небі з конкретної точки Землі. Для таких завдань необхідний Stellarium.
- *Спрощення реальних процесів.* Хоча модель фізики є точною, для візуального ефекту іноді використовуються спрощення. Наприклад,

внутрішня структура планет чи складні хімічні реакції моделюються менш детально, ніж у спеціалізованих наукових програмах.

- *Ризик переважання розваги над навчанням.* Через високу «ігрову» складову та драматичність сценаріїв (зіткнення, руйнування) існує ризик, що учні можуть сприймати програму як розвагу, а не як навчальний інструмент. Викладачеві необхідний чіткий контроль і скрипти уроків, щоб уникнути хаотичного експериментування, яке не веде до засвоєння наукових принципів.

Загалом можна зробити наступний висновок щодо цих програм-симуляторів – ефективне використання симуляцій на уроках астрономії вимагає комбінованого підходу.

Жоден інструмент не може задовольнити всі освітні потреби:

- Star Walk 2 є мостом до реального світу.
- Stellarium є основою для спостереження та координатної системи.
- Celestia формує просторову інтуїцію.
- Universe Sandbox розвиває фізичне мислення та розуміння динаміки.

Оптимальна навчальна стратегія полягає у послідовному інтегруванні цих інструментів, що дозволяє учням перейти від простої ідентифікації (Star Walk 2) до просторового розуміння (Celestia) і, нарешті, до наукового експерименту (Universe Sandbox), завжди повертаючись до точних координат Stellarium.

2.2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ УРОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ UNIVERSE SANDBOX.

Використання симулятора Universe Sandbox на уроках астрономії дає нам три головні речі:

1. Дозволяє «зламати» Всесвіт, щоб зрозуміти, як він працює.

Це не просто красива картинка, а віртуальна наукова лабораторія. Замість того, щоб просто читати про закон тяжіння, ви можете самі його перевірити.

Наочна фізика – ви можете змінити масу Сонця, і одразу побачите, як Земля або вилетить геть, або впаде на нього. Це показує причинно-наслідковий зв'язок: якщо змінюється один параметр, фізичні закони миттєво диктують, що станеться з системою.

Катастрофи без ризику – учні можуть безпечно моделювати зіткнення планет, вибухи зірок або падіння астероїдів. Це дуже захоплює і допомагає зрозуміти, як утворюються системи та кільця.

2. Допомагає відчувати масштаб і час.

Коли ми читаємо, що зірка горить мільярди років, це абстракція. Universe Sandbox робить це реальністю.

- Можна прискорити час і побачити, як зірка «старіє» і перетворюється на чорну діру або білого карлика за кілька хвилин.
- Симулятор дає можливість порівнювати об'єкти у 3D. Наприклад, наскільки великий Юпітер порівняно з усіма іншими планетами.

3. Перетворює учня на справжнього вченого.

Universe Sandbox переводить навчання з пасивного режиму «слухаємо» в активний режим «досліджуємо». Учні не просто отримують знання, а формулюють гіпотези «Що буде, якщо...» і перевіряють їх через симуляцію. Це розвиває наукове мислення.

Universe Sandbox дозволяє учням експериментувати з фізикою космосу так, ніби вони керують власною науково-дослідною станцією, роблячи складні закони дуже простими та зрозумілими.

На прикладі чотирьох тем ми покажемо, як варто використовувати цей симулятор на уроках.

Тема 1. Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет. Визначення маси і розмірів небесних тіл.

Тема 2. Зорі. Еволюція зір.

Тема 3. Світ галактик. Активні ядра галактик.

Тема 4. Чорна діра.

ВИДИМИЙ РУХ СОНЦЯ. ВИДИМІ РУХИ МІСЯЦЯ ТА ПЛАНЕТ. ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ І РОЗМІРІВ НЕБЕСНИХ ТІЛ.

Мета уроку:

Навчальна: сформувати в учнів уявлення про видимі рухи Сонця, Місяця і планет, зумовлені дійсними рухами та обертанням Землі. Ознайомити з методами визначення відстаней, розмірів і мас небесних тіл.

Розвивальна: розвивати просторову уяву, логічне мислення та вміння аналізувати інформацію.

Виховна: виховувати почуття причетності до величних явищ Всесвіту, сприяти формуванню наукового світогляду.

Тип уроку: комбінований.

Обладнання: мультимедійна дошка, або ПК, презентація «Видимий рух Сонця, Місяця та планет», відеофрагменти із програми Universe Sandbox, презентація.

Хід уроку

1. Організаційний момент

Привітання. Перевірка готовності учнів. Оголошення теми та мети.

2. Актуалізація опорних знань

Фронтальне опитування:

- Як обертання Землі впливає на видиме зоряне небо?
- Що таке небесна сфера?
- Які небесні координати ви знаєте?
- Що таке екваторіальна, горизонтальна системи координат?

3. Вивчення нового матеріалу

Видимий річний рух Сонця

- **Зодіакальні сузір'я:** Сонце протягом року переміщується серед зір, що створює видимий річний рух. Цей шлях Сонця називається екліптикою. Поясніть, що видимий рух Сонця є відображенням дійсного руху Землі по орбіті навколо Сонця.

- **Зміна дня і ночі, пір року:** обговоріть, як річний рух Сонця та нахил осі обертання Землі ($23,5^\circ$) зумовлюють зміну пір року. Наведіть приклади (сонячне рівнодення, сонцестояння).

Видимі рухи Місяця і планет

Видимий рух Місяця складається з кількох компонентів:

Добовий рух: Місяць, як і всі небесні об'єкти, сходить і заходить через обертання Землі.

Орбітальний рух: Місяць обертається навколо Землі за 27,3 доби. Це спричиняє його видиме зміщення на тлі зір. За добу Місяць зміщується приблизно на 13° на схід.

Рух планет на небесній сфері складніший. Їх видимі рухи залежать від їхнього розташування відносно Землі (внутрішні чи зовнішні) та швидкості їхнього руху по орбітах.

Внутрішні планети (Меркурій, Венера): їх можна спостерігати лише незадовго після заходу або перед сходом Сонця. Вони мають фази, як і Місяць.

Зовнішні планети (Марс, Юпітер, Сатурн): їхній видимий рух може бути прямим (із заходу на схід) та зворотним (із сходу на захід), що утворює петлі. Це є наслідком комбінації руху Землі та самої планети по своїх орбітах.

Визначення розмірів, мас і відстаней до небесних тіл

- *Радіолокаційний метод:* використовується для тіл Сонячної системи. Вимірюється час, за який радіосигнал доходить до об'єкта і повертається.
- *Метод паралаксу:* використовується для ближніх зір. Вимірюється зміщення зорі на тлі більш далеких зір, коли Земля рухається по своїй орбіті.
- *Кутовий розмір і відстань:* розмір об'єкта (D) можна обчислити за формулою: $D = \alpha \cdot L$, де α – кутовий розмір об'єкта, L – відстань до нього.
- *Закони Кеплера:* масу центрального тіла (наприклад, Сонця) можна визначити за третім законом Кеплера, знаючи період обертання планети та її відстань до зорі: $M = 4\pi^2 G \cdot T^2 a^3$.

- *Подвійні системи:* маса зір у подвійних системах визначається за їхніми орбітальними параметрами.

4. Закріплення вивченого матеріалу

Фронтальне обговорення:

- Чому ми спостерігаємо зміну зодіакальних сузір'їв протягом року?
- Чому зовнішні планети мають петлеподібний рух?
- Як виміряти відстань до Сонця? А до далекої галактики?

Завдання в Universe Sandbox

НАЗВА СИМУЛЯЦІЇ	МЕТА	ДІЇ В UNIVERSE SANDBOX	ОЧІКУВАНИЙ ВИСНОВОК
1. Видимий рух Сонця та нахил осі	Довести, що зміна пір року залежить від нахилу осі Землі, а не від відстані до Сонця.	1. Завантажити симуляцію Сонячної системи. 2. Пришвидшити час та спостерігати за кутом падіння променів. 3. Змінити нахил осі Землі (з 23,5° на 0° або 90°).	При нахилі 0° пори року зникають. Видимий рух Сонця змінюється кардинально при зміні нахилу осі.
2. Фази Місяця	Візуалізувати взаємне розташування Землі, Місяця та Сонця, що призводить до зміни фаз.	1. Завантажити систему Земля-Місяць. 2. Перемкнути точку спостереження на Землю. 3. Пришвидшити час і спостерігати, як змінюється освітлена частина Місяця.	Фази Місяця – це не тінь Землі, а зміна кута освітлення Місяця Сонцем, видима із Землі.
3. Ретроградний рух планет	Пояснити, чому планети іноді рухаються назад на небесній сфері (петлеподібний рух).	1. Завантажити симуляцію із Землею та Марсом. 2. Перемкнути точку спостереження на геоцентричну (ніби ви дивитесь на Марс із Землі). 3. Пришвидшити час, спостерігаючи за траєкторією Марса.	Ретроградний рух є оптичною ілюзією, що виникає, коли швидша Земля "обганяє" повільніший Марс по внутрішній орбіті.

5. Домашнє завдання

- Опрацювати відповідні параграфи підручника.
- Підготувати коротке повідомлення про один із методів визначення відстаней у Всесвіті.

ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР.

Тип уроку: комбінований (вивчення нового матеріалу + практична робота з цифровими інструментами)

Мета уроку:

Навчальна: ознайомити учнів з основними властивостями зір, їх класифікацією та етапами еволюції; сформувати уявлення про життєвий цикл зорі від народження до загибелі; показати роль маси зорі в її подальшій еволюції.

Розвивальна: розвивати вміння аналізувати фізичні процеси в космосі; формувати навички роботи з науковим програмним середовищем Universe Sandbox; стимулювати пізнавальний інтерес до астрономії через моделювання.

Виховна: виховувати науковий світогляд, інтерес до дослідницької діяльності; формувати екологічне та філософське ставлення до космосу та ролі людини у Всесвіті.

Обладнання: мультимедійна дошка або проектор, комп'ютери/ноутбуки з установленим Universe Sandbox, презентація вчителя, підручники з астрономії.

Хід уроку

1. Організаційний момент

Привітання, перевірка готовності учнів до уроку. Коротке вступне слово вчителя: «Сьогодні ми вирушимо в подорож життєвим шляхом зір – від їх народження у глибинах космосу до яскравого фіналу у вигляді наднових чи чорних дір».

2. Актуалізація знань

Обговорення: що таке зоря? Чим зорі відрізняються від планет? Які зорі ви знаєте в нашому небі? (Можна показати зображення зір різного типу: червоні гіганти, білі карлики, нейтронні зорі.)

3. Вивчення нового матеріалу

Основні характеристики зір (маса, світність, температура поверхні, спектральний клас (O, B, A, F, G, K, M), колір зорі як показник її температури).

Життєвий цикл зорі

1. **Протозоря.** Утворюється з газопилової хмари під дією гравітації. Поступово стискається і нагрівається.

2. **Головна послідовність.** Стадія стабільного горіння водню в ядрі (як наше Сонце). Тривалість – мільярди років.

3. **Червоний гігант / Надгігант.** Після вичерпання водню зоря розширюється, охолоджується.

4. Фінальні стадії залежно від маси:

Малі та середні зорі → Планетарна туманність → Білий карлик

Масивні зорі → Наднова → Нейтронна зоря або Чорна діра

Чим більша маса зорі – тим швидше вона «живе» і тим яскравіше «вибухає» наприкінці. Наприклад, зоря масою 30 сонячних живе всього ~5 млн років, тоді як Сонце – ~10 млрд років.

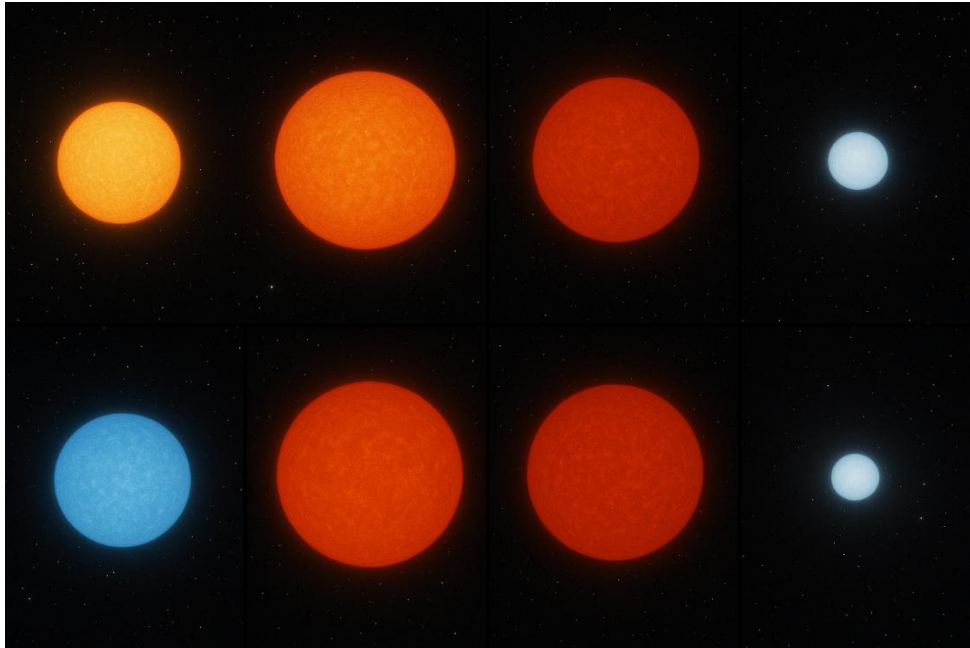
4. Практична частина: завдання в Universe Sandbox.

Завдання: еволюція зорі

На основі отриманих знань змодельовати еволюцію зір різної маси в Universe Sandbox та дослідити, як змінюється їх життєвий шлях.

Покрокова інструкція:

1. Відкрити Universe Sandbox → меню Add → Star.
2. Створити зорю типу G (аналог Сонця) і запустити симуляцію часу (швидкість $\times 100$ млн років).
3. Спостерігати: зміни розміру, кольору, яскравості з часом; момент переходу в червоний гігант; утворення білого карлика.
4. Повторити симуляцію для зорі масивнішої (тип O або B) – порівняти результат.
5. Зробити скріншоти ключових стадій і коротко описати їх.



Верхній ряд – життя зорі малої маси:

Жовта зоря – основна послідовність (звичайний стан).

Розширення – зоря стає червоним гігантом.

Втрата оболонки – кінець гігантської стадії.

Маленька біла зоря – білий карлик (залишок зорі).

Нижній ряд – масивна зоря (типу O або B):

Блакитна гаряча зоря – основна послідовність.

Розширення до надгіганта.

Колапс ядра (наднова, не показана візуально).

Залишок – білий карлик або нейтронна зоря (залежно від маси).

Тут ми бачимо, як змінюється розмір, колір і яскравість з часом, і порівняли життєві шляхи зір різної маси.

Додаткове творче завдання «Що як...?»

Змінити масу зорі (наприклад, збільшити масу Сонця в 2–3 рази) і спостерігати, як це змінює її еволюцію.

5. Підсумок уроку

Обговорення запитань: чому маса зорі визначає її долю? Які зорі можуть перетворитися на чорні діри? Що здивувало під час симуляції?

Підведення підсумків: «Симуляції допомогли нам побачити, що зорі – це не просто точки на небі, а живі космічні об'єкти зі своїм народженням, життям і смертю».

Домашнє завдання

Створити коротку презентацію або постер «Життя зорі» з власними скріншотами з Universe Sandbox і короткими поясненнями стадій еволюції.

СВІТ ГАЛАКТИК. АКТИВНІ ЯДРА ГАЛАКТИК

Мета уроку:

Навчальна: сформувати в учнів уявлення про Галактику як основну структурну одиницю Всесвіту. Ознайомити з різноманітністю форм і типів галактик. Дати поняття про активні ядра галактик (АЯГ) та основні гіпотези їхнього походження.

Розвивальна: розвинути пізнавальний інтерес до астрономії, вміння аналізувати та порівнювати різні астрономічні об'єкти. Сприяти розвитку логічного мислення та формування наукового світогляду.

Виховна: виховати усвідомлення масштабності Всесвіту, розуміння того, що людина є частиною цього грандіозного світу.

Тип уроку: комбінований (пояснення нового матеріалу, закріплення знань).

Обладнання: мультимедійна дошка, або ПК, презентація "Галактики та їхні типи", відеофрагменти із програми Universe Sandbox про злиття двох галактик.

Хід уроку

1. Організаційний момент

Привітання. Перевірка готовності учнів до уроку. Оголошення теми та мети уроку.

2. Актуалізація опорних знань

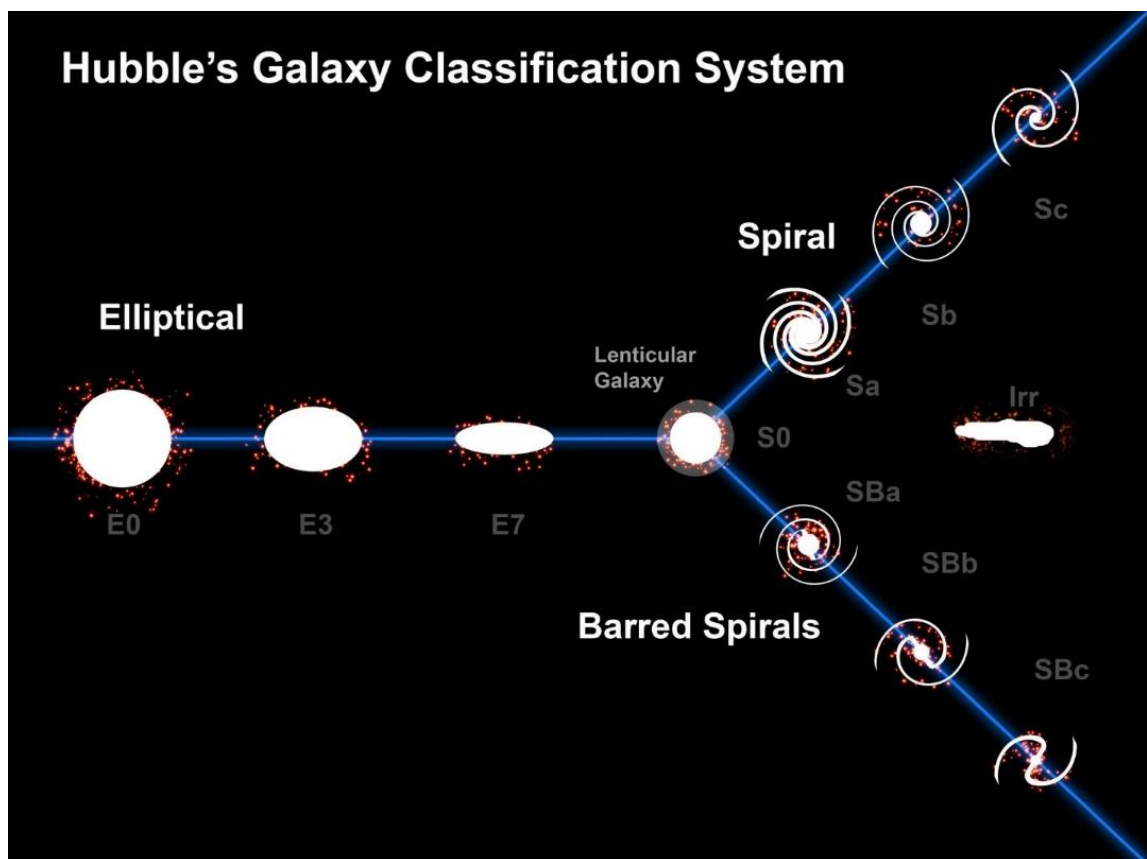
Фронтальне опитування: що таке Всесвіт? Яке місце займає Сонячна система у Всесвіті? Що таке зоряні скупчення? Що ви знаєте про міжзоряне середовище?

3. Вивчення нового матеріалу

Галактика – це велетенська, гравітаційно пов'язана система, що складається із зір, зоряних скупчень, міжзоряного газу та пилу, а також темної матерії. Наша Сонячна система є частиною Галактики Чумацький Шлях.

Класифікація галактик

У 1926 році американський астроном Едвін Габбл запропонував класифікацію галактик, яка використовується і сьогодні.



За цією класифікацією, галактики поділяються на чотири основні типи: Еліптичні галактики (E): мають еліпсоїдну форму, від дуже витягнутих (E7) до майже сферичних (E0). Вони містять переважно старі зорі й дуже мало

міжзоряного газу та пилу, тому процеси зореутворення в них майже не відбуваються.

Спіральні галактики (S): характеризуються плоским диском з вираженою спіральною структурою, що складається з кількох спіральних рукавів, і центральним балджем (потовщенням). Спіральні рукави містять багато молодих, яскравих зір, газу та пилу. Наша Галактика є спіральною.

Спіральні галактики з баром (SB): подібні до спіральних, але мають у центрі перемичку (бар), від якої відходять спіральні рукави.

Нерегулярні (іррегулярні) галактики (Irr): не мають чіткої структури. Часто є результатом взаємодії чи зіткнення двох інших галактик. Містять багато газу та пилу, що призводить до активного зореутворення..

Активне ядро галактики (АЯГ) – це компактна область у центрі деяких галактик, яка випромінює величезну кількість енергії в усіх діапазонах електромагнітного спектра.

Особливості АЯГ:

Висока світність: яскравість АЯГ може перевищувати сумарну яскравість усіх зір у галактиці-господарі.

Компактність: розміри ядра є надзвичайно малими в порівнянні з розмірами галактики (іноді менші за розмір Сонячної системи).

Широкий спектр випромінювання: АЯГ випромінюють у радіо-, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому, рентгенівському та гамма-діапазонах.

Основні типи АЯГ:

Квазари: найяскравіші та найвіддаленіші активні ядра, які виглядають як зорі. Їхня світність настільки велика, що вона "затмарює" саму галактику-господарку.

Сейфертівські галактики: це спіральні галактики з яскравим, зореподібним ядром. Їхня світність менша, ніж у квазарів.

Радіогалактики: галактики, які випромінюють велику кількість енергії в радіодіапазоні.

Дослід у Universe Sandbox:

Завдання: Зіткнення Чумацького Шляху та Андромеди

Мета завдання:

Навчальна: змоделювати та візуалізувати процес зіткнення двох галактик.

Розвивальна: поглибити розуміння гравітаційної взаємодії в космічних масштабах, масштабів часу та простору у Всесвіті.

Виховна: сформувати усвідомлення динамічності Всесвіту.

Інструкція для виконання

Запуск симуляції: відкрийте програму Universe Sandbox. У головному меню оберіть вкладку "Симуляції". Знайдіть і запустіть готову симуляцію "Зіткнення Чумацького Шляху та Андромеди" (Milky Way & Andromeda Collision).

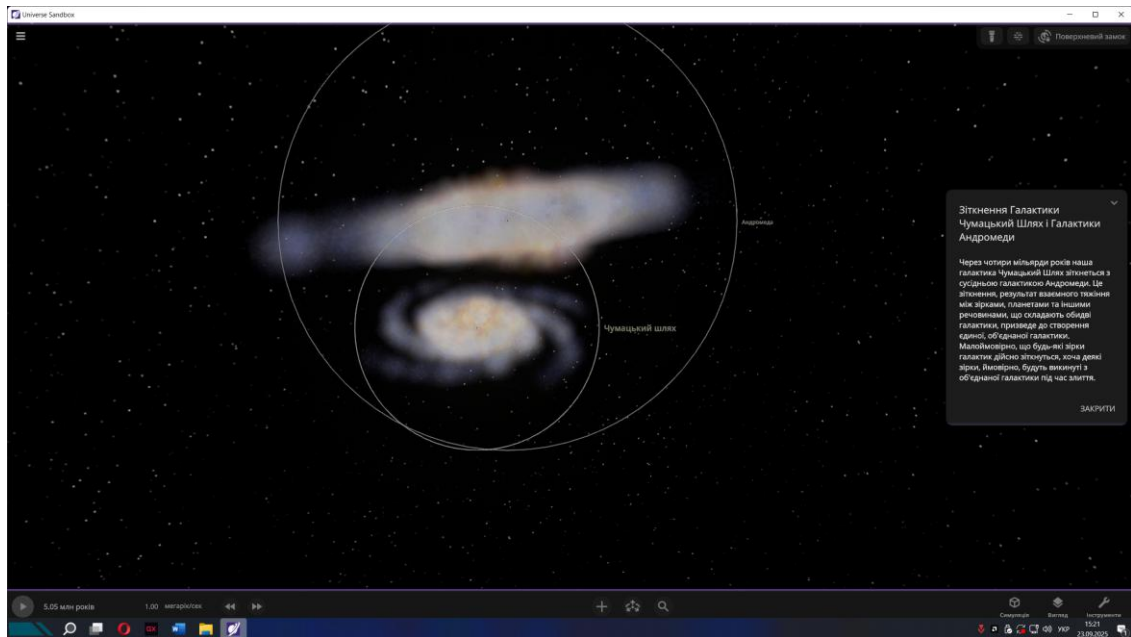
Крок 1: початковий стан. Натисніть кнопку "пауза" і уважно розгляньте початкове розташування галактик. Зверніть увагу на їхню форму, розміри та відстань між ними.

Крок 2: прискорення часу. Запустіть симуляцію, натиснувши "відтворити" і поступово прискорюйте час (використовуючи кнопки >> або бігунок). Спостерігайте, як Андромеда наближається до Чумацького Шляху.

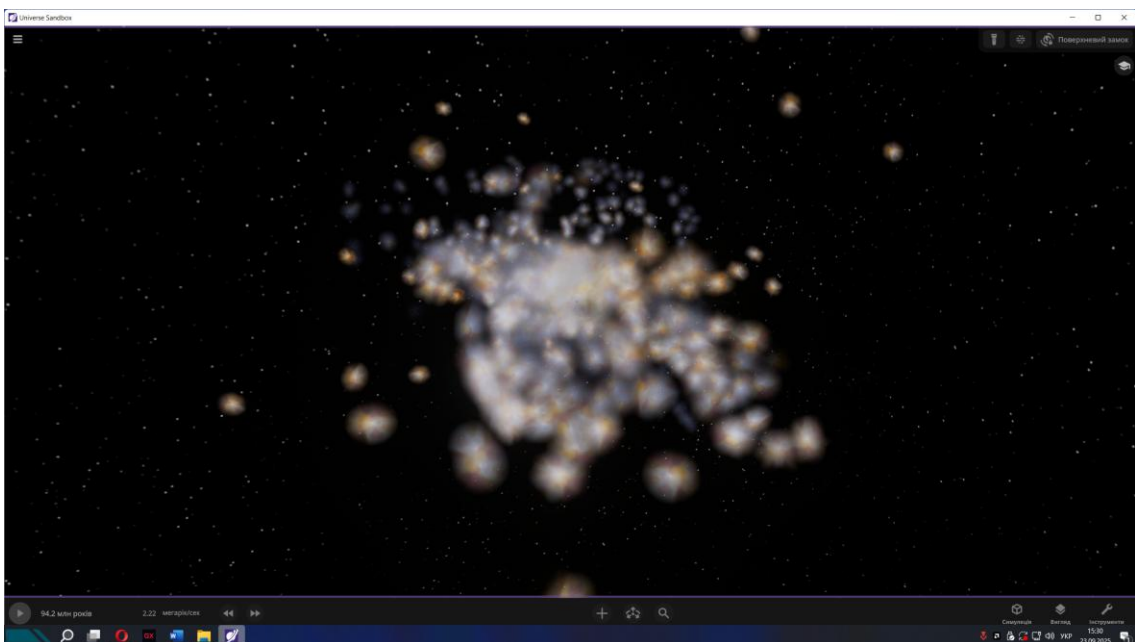
Крок 3: перший прохід. Зверніть увагу на момент, коли галактики починають взаємодіяти. Як змінюється їхня форма? Чи відбувається масове зіткнення зір? (підказка: поясніть учням, що через величезні відстані між зорями, прямі зіткнення малоімовірні, але гравітаційна взаємодія буде дуже сильною).

Крок 4: формування нової галактики. Продовжуйте спостереження, поки галактики не пройдуть одна крізь одну та не почнуть зливатися. Зафіксуйте утворення нової, єдиної галактики – Мілкомеди (Milkomeda).

Крок 5: кінцевий результат. Зауважте, що нова галактика, ймовірно, стане еліптичною. Це типовий результат злиття двох спіральних галактик.



Початковий етап зіткнення двох галактик



Момент зіткнення Андромеди та Молочного шляху

Запитання для обговорення (після симуляції):

- Яку роль відіграє гравітація у цьому зіткненні? (Гравітація відіграє ключову роль у зіткненні галактик, виступаючи як основна рушійна сила. Вона притягує галактики одна до одної, деформує їх і зрештою призводить до їхнього злиття.)

- Чому, незважаючи на зіткнення галактик, прямі зіткнення зір є надзвичайно рідкісним явищем?(Прямі зіткнення зір під час зіткнення галактик є надзвичайно рідкісними через величезні відстані між зорями.)
- Через скільки мільярдів років, за прогнозами вчених, відбудеться це зіткнення насправді? (Очікується, що через 4,5-5 мільярдів років)
- Як би вплинуло це зіткнення на нашу Сонячну систему та Землю? (Імовірність прямого зіткнення із зорею іншої галактики майже нульова, але орбіта Сонячної системи могла б змінитися).
- Чи може нова галактика, яка утвориться в результаті злиття, у майбутньому зіткнутися з іншою галактикою? (Так, цей процес є циклічним).

4. Закріплення вивченого матеріалу.

Обговорення: учні відповідають на запитання:

Які основні типи галактик ви знаєте?

Що таке активне ядро галактики?

Яка основна гіпотеза походження енергії АЯГ?

Вправа «Впізнай галактику»: показ слайдів з зображеннями різних галактик, учні визначають їхні типи.

ЧОРНА ДІРА

Тип уроку: комбінований (вивчення нового матеріалу + практична робота з цифровими інструментами)

Мета уроку:

Навчальна: сформувати в учнів уявлення про природу та механізм утворення чорних дір; розкрити поняття сингулярності, горизонту подій, ознайомити з непрямими методами виявлення чорних дір.

Розвивальна: розвивати просторове мислення, навички роботи з комп'ютерним моделюванням та вміння застосовувати теоретичні знання для аналізу фізичних процесів.

Виховна: формувати науковий світогляд, усвідомлення складності та величі Всесвіту, стимулювати пізнавальний інтерес.

Хід уроку

1. Організаційний момент

Привітання, перевірка готовності учнів до уроку.

2. Актуалізація опорних знань та мотивація

Фронтальне опитування: Що таке гравітація? Як вона впливає на формування об'єктів у Всесвіті? На якій стадії життєвого циклу перебуває наше Сонце? Що відбувається із зіркою, коли в її ядрі закінчується ядерне паливо?

Мотивація: вчитель: «Ми вивчили, що наймасивніші зорі закінчують життя вибухом наднової. Але залишок цього вибуху може бути настільки щільним, що навіть світло не зможе його покинути. Сьогодні ми зануримось у найзагадковіші та найтемніші об'єкти Всесвіту – Чорні діри. Як їх вивчати, якщо ми їх не бачимо?»

3. Вивчення нового матеріалу

Утворення чорної діри

Чорна діра – це область простору-часу, гравітаційне тяжіння якої настільки велике, що навіть світло не може її покинути. Механізм утворення – кінцевий етап еволюції зірки, маса якої в 2,5-3 рази перевищує масу Сонця. Після вибуху наднової (тип II) ядро колапсує, доки не утворюється сингулярність (точка нескінченної щільності).

Будова Чорної діри (ключові поняття)

Сингулярність: точка, де зосереджена вся маса об'єкта, з нескінченною щільністю.

Горизонт подій: межа, за якою швидкість, необхідна для гравітаційного подолання, перевищує швидкість світла. Це точка неповернення.

Радіус Шварцшильда r_s : радіус горизонту подій. Визначається масою тіла. Якщо будь-яке тіло стиснути до цього радіуса, воно стане чорною дірою.

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}.$$

Виявлення Чорних дір

Акреційний диск: газ і пил, що падають на чорну діру, утворюють диск. Гравітація прискорює матеріал до величезних швидкостей, що спричиняє його нагрівання до мільйонів градусів і випромінювання рентгенівських променів.

Гравітаційний вплив: спостереження за орбітами зір навколо невидимого, але надзвичайно масивного об'єкта (наприклад, Стрілець А* у центрі нашої Галактики).

4. Практичне застосування та моделювання.

Учні виконують завдання у програмі «Universe Sandbox».

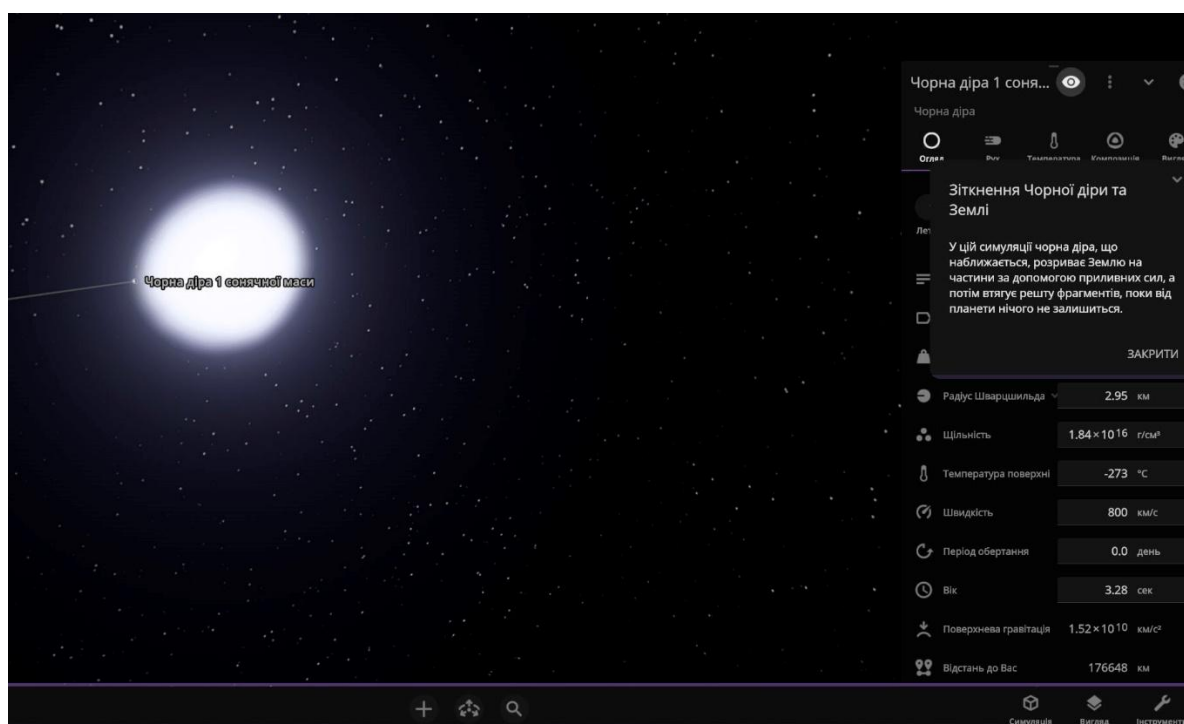
Завдання 1: Візуалізація Горизонту Подій

1. Створення Чорної діри: додайте у симуляцію чорну діру зоряної маси (наприклад, $10M_{sun}$).
2. Експеримент зі швидкістю: додайте невеликий об'єкт (наприклад, астероїд) на певній відстані від Чорної діри.
3. Дослідження: спробуйте «запустити» астероїд у напрямку ЧД, поступово збільшуючи його швидкість.

Запитання: на якій відстані (приблизно) об'єкт почне неминуче падати на чорну діру, незалежно від його швидкості? (Учні візуально підтверджують концепцію Горизонту подій).

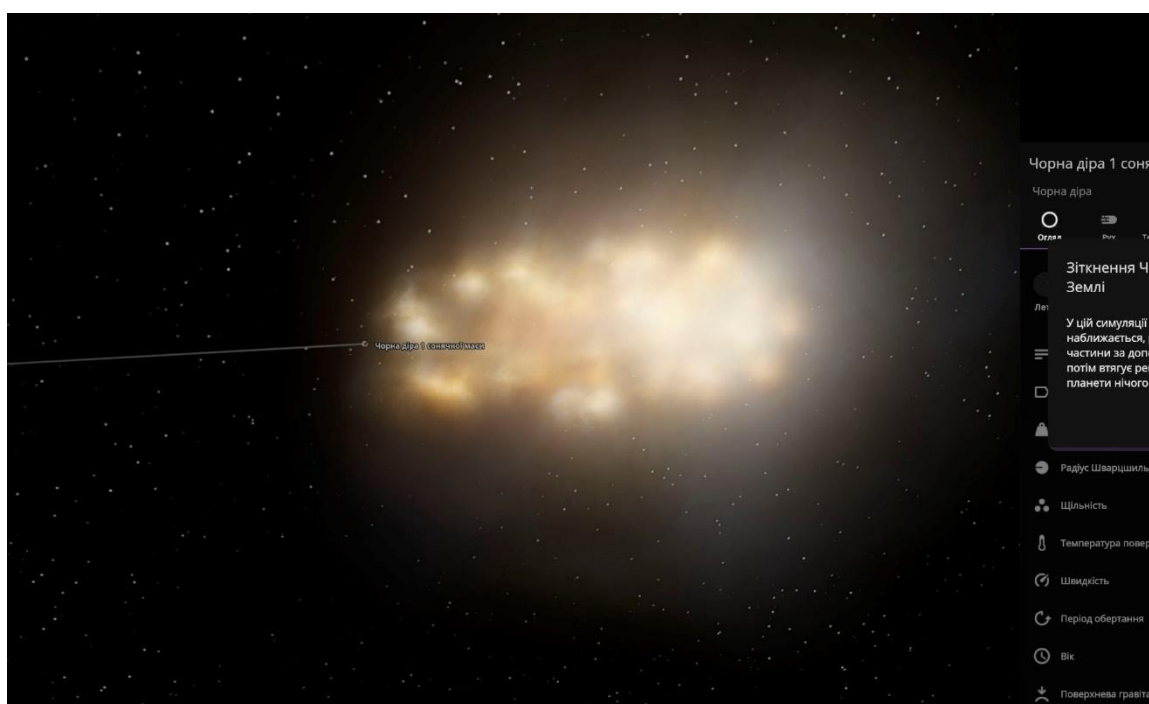
Завдання 2: зіткнення чорної діри та Землі.

1. Налаштування: розмістіть поряд із чорною дірою планету Земля та спостерігайте за об'єктом, що наближається.
2. Дослідження: пришвидшіть час та спостерігайте, як чорна діра наближається до планети.



Запуск симуляції. Наближення чорної діри до Землі

Обговорення: учні мають візуально побачити, як припливні сили (різниця гравітації, що діє на ближній і дальній боки об'єкта) починають «розтягувати» об'єкт, перш ніж він перетне горизонт подій.



Кінець симуляції. Зіткнення Чорної діри та Землі.

5. Закріплення та підсумок

Міні-диспут «дві хвилини правди»:

Чи може чорна діра "засмоктати" увесь Всесвіт? (Ні, її гравітація діє так само, як і гравітація зірки такої ж маси).

Чи можна подорожувати крізь чорну діру? (Теоретично так, але лише в один бік і без можливості передачі інформації назад).

Підведення підсумків:

- Оцінка роботи учнів у симуляторі, виділення найбільш активних.
- Короткий висновок про важливість комп'ютерного моделювання для вивчення невидимих явищ.

6. Домашнє завдання

Вивчити параграф підручника про чорні діри. Дати визначення термінам: сингулярність, горизонт подій, радіус Шварцшильда.

2.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Метою експериментальної перевірки було визначення ефективності розроблених методичних матеріалів та доцільності використання програмного середовища «Universe Sandbox» для візуалізації складних астрономічних процесів у процесі вивчення астрономії учнями.

Гіпотеза дослідження: використання програмного середовища «Universe Sandbox» на основі розроблених методичних матеріалів суттєво підвищить рівень засвоєння теоретичного матеріалу, сформує стійкіші практичні навички моделювання та підвищить пізнавальний інтерес учнів до вивчення астрономії порівняно з традиційними методами навчання.

Завдання:

1. Розробити тести, практичні завдання для оцінки знань та навичок. Визначити початковий рівень знань у двох групах.

2. Провести уроки в двох групах. Учням групи ОВА-20 провести урок із застосуванням традиційних методів навчання, учням ЗЕС-32 за допомогою розроблених методичних матеріалів та програми «Universe Sandbox».
3. Здійснити підсумкове тестування та провести кількісний і якісний аналіз отриманих результатів.

Організація та методика проведення експерименту

База експерименту: Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Учасники: учні групи ОВА-20 (оператор комп'ютерної верстки. Адміністратор) у кількості 17 осіб та учні групи ЗЕС-32 (зварювальник та слюсар по ремонту) у кількості 20 осіб.

Проведене тестування засвідчило суттєву різницю в успішності груп.

1. Учні ЗЕС-32 (з використанням Universe Sandbox) продемонстрували значно вищу якість засвоєння матеріалу.
2. Інтерактивне моделювання забезпечило глибшу орієнтацію учнів у складних астрономічних процесах, порівняно з навчанням за традиційною методикою, яка була застосована в групі ОВА-20.
3. Результати підтверджують, що візуалізація та інтерактивність є ефективнішими засобами для розуміння астрономії.

Навчальний матеріал для обох груп був однаковим і охоплював теми, де візуалізація є ключовою. Під час практики в мене була тема уроку «Зіткнення небесних тіл. Аналіз наслідків ударів астероїдів/планет»

Експериментальна перевірка підтвердила висунуту гіпотезу.

1. Ефективність: розроблені методичні матеріали із застосуванням «Universe Sandbox» є ефективнішими за традиційну методику викладання астрономії, про що свідчить вищий рівень навчальних досягнень в експериментальній групі.

2. Мотивація: застосування інтерактивного моделювання значно підвищує пізнавальний інтерес учнів, сприяє глибшому розумінню фізичних процесів та розвитку навичок експериментальної роботи.
3. Рекомендовано впровадити розроблені методичні матеріали в освітній процес коледжу/школи як засіб модернізації викладання складних природничо-наукових дисциплін.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У цьому розділі було розглянуто практичні аспекти впровадження симулятора Universe Sandbox у навчальний процес, розроблено відповідну методику та експериментально перевірено її ефективність.

1. Встановлено, що Universe Sandbox є потужним дидактичним інструментом, який дозволяє реалізувати принцип наочності на якісно новому рівні. Головними перевагами програми визначено:

- Високий ступінь інтерактивності, що дозволяє учням не просто спостерігати, а втручатися в хід фізичних процесів.
- Можливість моделювання явищ, які неможливо відтворити в лабораторних умовах (зіткнення галактик, еволюція зірок, зміна клімату).
- Наукова достовірність фізичної моделі, що дозволяє використовувати програму не лише для демонстрацій, а й для проведення віртуальних лабораторних робіт.

2. Розроблено методику проведення уроків, яка базується на поєднанні традиційних форм навчання з елементами дослідницького методу.

3. Запропоновано типологію уроків: від уроків-демонстрацій (де симуляція є ілюстрацією слів учителя) до уроків-досліджень (де учні самостійно перевіряють гіпотези).

4. Створено методичні матеріали (конспекти уроків), які дозволяють органічно інтегрувати програмне забезпечення у навчальну програму, не порушуючи логіки курсу, а доповнюючи її.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дослідження було виконано наступні завдання:

1. Проведено аналіз психолого-педагогічної літератури, який підтвердив, що комп'ютерні симуляції є потужним інструментом, що відповідає принципам візуального навчання. Ефективність симуляцій базується на теорії когнітивного навантаження, оскільки вони знижують навантаження на робочу пам'ять, перетворюючи абстрактні концепції на інтерактивні та керовані моделі.

2. Проведений порівняльний аналіз показав, що серед доступних програмних засобів симулятор «Universe Sandbox» володіє унікальною перевагою. Якщо інші програми є переважно програмними планетаріями, то «Universe Sandbox» є динамічним фізичним симулятором. Це дозволяє не лише спостерігати за процесами, а й змінювати їхні параметри, що є важливим для реалізації дослідницького підходу у навчанні астрономії.

3. Створено та детально описано комплекс навчальних завдань та конспектів уроків (зокрема, з тем «Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет. Визначення маси та розмірів небесних тіл», «Зорі. Еволюція зір», «Світ галактик, активні ядра галактик», «Чорна діра»). Ці приклади занять повністю інтегрують роботу в «Universe Sandbox» як обов'язковий етап уроку, забезпечуючи перехід від теорії до практичного моделювання та розрахунків, і можуть бути використані практикуючими вчителями.

4. На основі проведеного аналізу розроблено методiku, яка включає три етапи:

- 1) Підготовчий (постановка проблеми).
- 2) Моделюючий (робота учнів із симулятором за чіткими інструкціями).
- 3) Аналітичний (порівняння результатів симуляції з теоретичними даними та формулювання висновків).

Ця методика орієнтована на проблемне навчання та дозволяє інтегрувати симулятор у ключові теми курсу астрономії, перетворюючи пасивне сприйняття матеріалу на активний дослідницький пошук.

5. Експериментально перевірено ефективність розроблених методичних матеріалів та доцільність використання програмного середовища «Universe Sandbox» для візуалізації складних астрономічних процесів у процесі вивчення астрономії. Ми побачили, що використання методики суттєво підвищила рівень засвоєння теоретичного матеріалу, сформувала стійкіші практичні навички моделювання та підвищила пізнавальний інтерес учнів до вивчення астрономії порівняно з традиційними методами навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барняк О. В. Використання комп'ютерних інтерактивних моделей під час навчання фізики / О. В. Барняк, С. В. Мохун // Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології, природничих наук в контексті вимог Нової української школи: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., м. Тернопіль, 20 трав. 2021 р. – Тернопіль, 2021. – С. 243–247.
2. Васьков Ю. В. Педагогічні теорії, технології, досвід: дидактичний аспект. – Х. : Скорпіон, 2000. – 120 с.
3. Віртуальні лабораторії на уроках природничих наук [Електронний ресурс] // Ранок. – Режим доступу: <https://ranok-portal.com.ua/publikatsii/virtualni-laboratoriyi-na-urokah-prirodnych-nyh-nauk> (дата звернення: 15.12.2025).
4. Волинський В. П. Класифікація програмних засобів навчального призначення // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2005. – № 1. – С. 19–20.
5. Гейко І. Використання інтерактивних форм і методів навчання. З досвіду роботи // Тема. – 2004. – № 3/4.
6. Гуревич Р. С. Інформаційно-комунікаційні технології у підготовці майбутніх учителів / Р. С. Гуревич, О. М. Скупий // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми : зб. наук. пр. – Київ–Вінниця : ТОВ фірма «Планер», 2009. – Вип. 21.
7. Данилевич Л. П. Створення засобів наочності з використанням комп'ютерних технологій / Л. П. Данилевич, О. М. Лиходід // Професійна підготовка педагогічних працівників. – К.-Житомир : Житомирський держ. пед. ун-т, 2008. – С. 16–24.
8. Застосування візуальних засобів навчання для підвищення ефективності навчального процесу у ПТНЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukraine-diplom.com/40/16217-zastosuvannya-vizualnix-zasobiv-navchannya-dlya-pidvishhennya-efektivnosti-navchalnogo-procesu-u-ptnz.html> (дата звернення: 15.12.2025).

9. Організація навчального процесу в сучасній школі : навч.-метод. посіб. для вчителів, керівників навч. закл., слухачів ІПО / М. В. Гадецький, Т. Н. Хлебнікова. – Харків : Веста : Вид-во «Ранок», 2004. – 136 с.
10. Star Walk 2 [Електронний ресурс] : застосунок. – Режим доступу: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vitotechnology.StarWalk2Free&hl=uk&pli=1> (дата звернення: 15.12.2025).
11. Stellarium [Електронний ресурс] : програма. – Режим доступу: <https://stellarium.org/uk/> (дата звернення: 15.12.2025).
12. Bennett J. The Cosmic Perspective / J. Bennett, M. Donahue, N. Schneider, M. Voit. – Pearson Education, 2019.
13. Celestia [Electronic resource] : program. – Available at: <https://celestiaproject.space/> (Accessed: 15.12.2025).
14. Cole M. Spatial Thinking in Astronomy Education Research / M. Cole, C. Cohen, J. Wilhelm, R. Lindell // Physical Review Physics Education Research. – 2018. – Vol. 14, Iss. 1. – P. 1–27. – DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010139.
15. de Jong T. Support for Simulation-Based Learning: The Effect of Assignments in Learning about Transmission Lines / T. de Jong, H. Haertel, J. Swaak, W. van Joolingen. – 1996. – P. 9–26. – DOI: 10.1007/BFb0022586.
16. Morrison J. The (In) effectiveness of animation in instruction / J. Morrison, B. Tversky // Chi 001: Extended Abstracts. – 2001. – P. 377–378. – DOI: 10.1145/634067.634290.
17. Rutten N. The learning effects of computer simulations in science education / N. Rutten, W. van Joolingen, J. Veen // Computers & Education. – 2012. – Vol. 58. – P. 136–153. – DOI: 10.1016/j.compedu.2011.07.017.
18. Sweller J. Cognitive Load Theory [Electronic resource]. – 2011. – Available at: <https://classes.mst.edu/edtech/TLT2013/presentations/BCH120/Abkemeier--CognitiveLoadTheory.pdf> (Accessed: 15.12.2025).

19. Universe Sandbox [Electronic resource] : game. – Available at: <https://universesandbox.com> (Accessed: 15.12.2025).
20. Zimmerman B. J. Attaining self-regulation: A social cognitive perspective / B. J. Zimmerman // Handbook of self-regulation / Ed. M. Boekaerts, P. R. Pintrich, M. Zeidner. – Academic Press, 2000. – P. 13–39. – DOI: 10.1016/B978-012109890-2/50031-7.