

ПРИРОДНИЧА ОСВІТА

Освітні науки

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-2.01>

УДК 373.3/5.016:5]:004

ІНТЕРАКТИВНИЙ ВІРТУАЛЬНИЙ СИМУЛЯТОР РНЕТ ЯК ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНО-ПРИРОДНИЧИХ НАУК

Гойванович Наталія Костянтинівна

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0002-3442-0674
Scopus author ID: 57203341250

Войтович Христина Олегівна

доктор філософії з математики, доцент кафедри математики та економіки
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0003-0472-9109
Researcher ID: GVT-4552-2022

Коссак Григорій Михайлович

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0002-6482-3976

Біла Мар'яна Іванівна

викладач природничих дисциплін
КЗ ЛОР «Дрогобицький фаховий музичний коледж імені Василя Барвінського»

Сучасне освітнє середовище є поєднанням традиційних та інноваційних методів навчання. Збільшення рівня цифровізації освітнього процесу призвело до ширшого використання інноваційних освітніх інструментів: освітніх платформ, онлайн-сервісів, віртуальних симуляторів і лабораторій, гейміфікованих сервісів.

Віртуальні симулятори (імітація процесів, явищ, побудова математичних моделей) і віртуальні лабораторії (проведення дослідів з природничих наук, розрахунків хімічних реакцій) сприяють кращому рівню наочності навчального матеріалу з математично-природничих наук, уможливають проведення дослідів у безпечних умовах, візуалізують результати та наслідки природних процесів і формулюють розуміння того, як дослідник може впливати на умови їх перебігу.

Сучасна віртуалізація природничих досліджень частково зумовлена біоетичними принципами поводження із живими організмами, деяких хімічних та фізичних дослідів через небезпеку реалізації в реальному часі (виділення отруйних або небезпечних речовин, випромінювання). Саме тому на зміну стандартним, реальним, традиційним лабораторіям у природничу галузь прийшли віртуальні лабораторії та симулятори. За допомогою віртуальної лабораторії можливе проведення демонстраційних дослідів, фронтальних лабораторних робіт і практикумів.

У статті зроблено огляд можливостей інтерактивної платформи РнЕТ як освітнього середовища для вивчення математично-природничих наук, а також наведено приклади застосувань на уроках математично-природничого циклу. РнЕТ є потужним інструментом для комп'ютерних імітацій лабораторних і практичних робіт; уможливує візуалізацію природних процесів і явищ, зокрема впливу на них зовнішніх факторів (температури, вологості, чисельності особин у популяціях, швидкості протікання реакції, сили тяжіння тощо).

Отже, використання інтерактивної платформи РнЕТ підвищує ефективність засвоєння знань з математично-природничих дисциплін, збільшує рівень наочності природних процесів та явищ, як результат – сприяє покращенню якості освіти.

Ключові слова: РнЕТ, віртуальний симулятор, віртуальна лабораторія, математично-природничі дисципліни.

Hoivanovych N. K., Voitovych Kh. O., Kossak H. M., Bila M. I. Interactive virtual simulator PhET as an educational environment for studying mathematical and natural sciences

The modern educational environment is a combination of traditional and innovative teaching methods. Increased digitalisation of the educational process has led to the wider use of innovative educational tools: educational platforms, online services, virtual simulators and laboratories, and gamified services.

Virtual simulators (simulating processes, phenomena, building mathematical models) and virtual laboratories (conducting experiments in natural sciences, calculating chemical reactions) contribute to a better level of visibility of the educational material in mathematical and natural sciences, make it possible to conduct experiments in safe conditions, visualise the results and consequences of natural processes and form an understanding of how a researcher can influence the conditions of their course.

The modern virtualisation of natural science research is partly caused by the bioethical principles of handling living organisms, some chemical and physical experiments due to the danger of their real-time implementation (release of poisonous or dangerous substances, radiation). That is why virtual laboratories and simulators have replaced standard, real, traditional laboratories in the natural sciences industry.

The article provides an overview of the capabilities of the interactive PhET platform as an educational environment for studying mathematical and natural sciences, and also gives examples of applications in the lessons of the mathematical and natural cycle. PhET is a powerful tool for computer simulations of laboratory and practical work; it enables visualisation of natural processes and phenomena, including the impact of external factors (temperature, humidity, number of individuals in populations, reaction speed, gravity, etc.)

Therefore, the use of the PhET interactive platform increases the efficiency of learning in mathematical and natural sciences, increases the level of visibility of natural processes and phenomena, and as a result, contributes to improving the quality of education.

Key words: PhET, virtual simulator, virtual laboratory, mathematical and natural sciences.

Постановка проблеми та її актуальність.

XXI століття характеризується широким впровадженням інформаційно-комунікаційних технологій в освітній процес, рівнем інформатизації освіти. Ці технології сприяють підвищенню мотивації учнів до навчання, активізації пізнавальної діяльності та формуванню вмінь і навичок самоосвіти. Це досягається шляхом стрімкого розвитку віртуальних складників навчальних технологій, зокрема, нових форм унаочнення матеріалу та організації навчання (віртуальні лабораторії, вебінари, тренажери, відеолекції, симулятори) завдяки доступу до освітніх ресурсів в мережі Інтернет. Такі засоби та технології навчання створюють умови для активного залучення учнів в освітній процес [10].

Комп'ютерне симулювання й моделювання є одним із перспективних напрямів використання цифрових технологій в освітньому просторі [7]. Воно особливо доречно при викладанні дисциплін математично-природничого циклу, адже навчальні комп'ютерні моделі дають змогу більш наочно подати навчальний матеріал, продемонструвати його нові властивості, що, зі свого боку, підвищує інтерес до предмета пізнання і сприяє поглибленому розумінню навчального матеріалу учнями [2; 5; 15].

Реалізація дослідів з природничих дисциплін зараз ускладнюється через низку причин, зокрема, обмеженість матеріально-технічної бази: коштовне нове та застаріле наявне лабораторне обладнання, нестача деяких реактивів, фінансування, ризик небезпеки під час проведення дослідів тощо [8].

Математично-природничі науки формують науковий світогляд школярів, але, зважаючи

на великий обсяг навчального матеріалу і скорочення часу на його вивчення, дистанційне навчання, інтерес учнів до предметів циклу знижується. Тому важливо створити умови для розвитку пізнавальної активності учнів та застосування сучасних засобів навчання, які є комп'ютерно орієнтованими [5].

Зважаючи на те, що математично-природничі науки є експериментальними, їх викладання має певні специфічні особливості. Для ефективного виконання низки навчальних завдань та уникнення ускладнень доцільно проводити природничі експерименти з використанням відповідних комп'ютерних програм [7; 10].

Впровадження віртуальних технологій в освітній процес під час вивчення математично-природничих дисциплін дає змогу підсилити недостатню лабораторну базу. Адже не у всіх закладах загальної середньої освіти є необхідна кількість реактивів та відповідного обладнання для проведення лабораторних робіт, особливо тих дослідів, для яких необхідні концентровані хімічні речовини, що заборонені до використання у шкільному курсі. Використання віртуальних лабораторій дає можливість для створення інтерактивного освітнього середовища, де імітується реальна дійсність, з якою взаємодіє експериментатор [1; 5].

Особливої актуальності використання віртуальних лабораторій набуло в умовах вимушеного дистанційного навчання в результаті поширення пандемії COVID-19 та повномасштабного вторгнення росії у 2022 р. Такі технології дають змогу вчителям набагато простіше представити

навчальний матеріал та виконувати лабораторні дослідження й практичні роботи, залучати при цьому учнів [2; 3].

Аналіз останніх досліджень. У наш час розроблено багато різноманітних віртуальних симуляторів та лабораторій, програмних продуктів, що свідчить про їх високий попит у галузі математично-природничої освіти [15].

Питання доцільності використання віртуальних лабораторій в освітньому процесі вивчали і продовжують вивчати багато науковців. А. І. Зіміна сформулювала основні методичні умови використання віртуальних лабораторій [6; 8; 9]:

1. Домінування дидактичної мети. Віртуальна лабораторія є лише засобом навчання, а на уроці та під час експерименту увага учнів повинна звертатися насамперед на досліджуваний об'єкт.

2. Доцільність застосування. Віртуальні лабораторії доцільно використовувати лише за об'єктивної необхідності, а не на постійній основі.

3. Проблемність навчання. Віртуальні лабораторії найбільш ефективні тоді, коли учні самостійно роблять висновки стосовно їх необхідності для виконання експерименту. Для цього перед учнями, що знають можливості віртуальної лабораторії при проведенні досліджень, потрібно поставити проблемну ситуацію, яку вони зможуть виконати, застосувавши свої знання.

4. Усвідомлення виконуваних дій та здобуття знань. Учень, виконуючи експеримент за допомогою віртуальної лабораторії, має розуміти мету, перебіг експерименту, його суть, усвідомлювати свої дії, оцінювати отримані результати та робити належні висновки.

5. Короткочасність. Оскільки експеримент обмежений часовими рамками уроку, він повинен виконуватись досить швидко.

6. Варіативність застосування. Вчитель має планувати навчальні дослідження, що будуть різно-

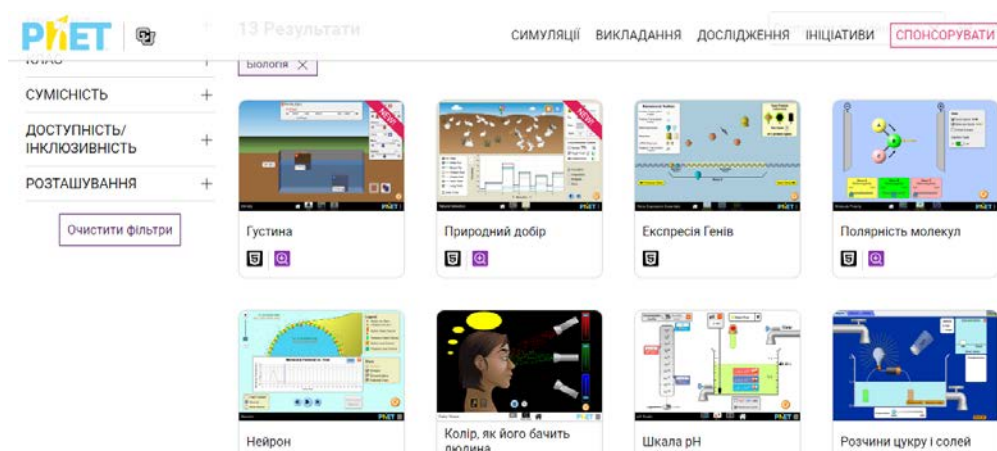
манітними за змістом і різними формами застосування віртуальних лабораторій для активації пізнавальної активності учнів на уроках математично-природничих дисциплін [8].

Варто розуміти, що віртуальні лабораторії не можуть повністю замінити реальні. Їх можна використовувати на певних етапах навчальної діяльності, наприклад, як засіб наочності чи при підготовці до проведення реальних дослідів.

Мета роботи – продемонструвати можливості інтерактивного симулятора PhET як віртуального освітнього середовища для вивчення математично-природничих наук.

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання віртуальних симуляторів та лабораторій в освітньому процесі значно розширює можливості вчителя, зацікавлює та мотивує учнів до навчання. Також зазначимо, що різні віртуальні лабораторні дослідження не можуть витіснити реальних, а мають доповнювати їх. Для учнів різних класів, зважаючи на їхній вік, можна застосовувати різні віртуальні лабораторії. Для учнів 5–8 класів доцільно використовувати лабораторії з обмеженими можливостями, де вони за допомогою віртуальних тренажерів та симуляторів, дотримуючись вказівок, зможуть переглядати різні дослідження, конструювати речовини та розвивати практичні навички. Для учнів 9–11 класів доцільно використовувати такі віртуальні лабораторії, де користувачі не обмежені в можливостях, можуть змінювати умови експерименту та проявляти свої творчі можливості.

Інтерактивна платформа PhET (Physics Education Technology) (розробник – Університет Колорадо, США) має колекцію віртуальних тренажерів та симуляторів, зокрема біологічних, хімічних, фізичних, математичних тощо [14]. Він дає змогу моделювати та демонструвати різні дослідження, процеси й будову речовин (наприклад,



Мал. 1. Вікно біологічного блоку програми PhET–Interactive Simulation

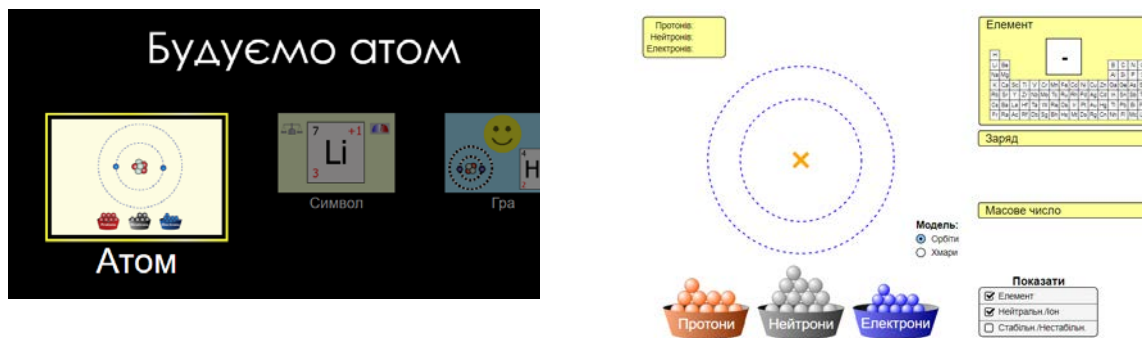
конструювання молекули різних речовин з атомів). Програма є англomовною, але досить зручною, простою в управлінні та зрозумілою.

PhET є доступним освітнім ресурсом, який містить понад 100 безкоштовних інтерактивних природних симуляцій, для кожного з яких наведено допоміжні матеріали для ефективного застосування в освітньому процесі (мал. 1). Їх можна застосовувати як online, так і offline на різних електронних пристроях, навіть на телефонах, що в час дистанційної та змішаної освіти є дуже зручним.

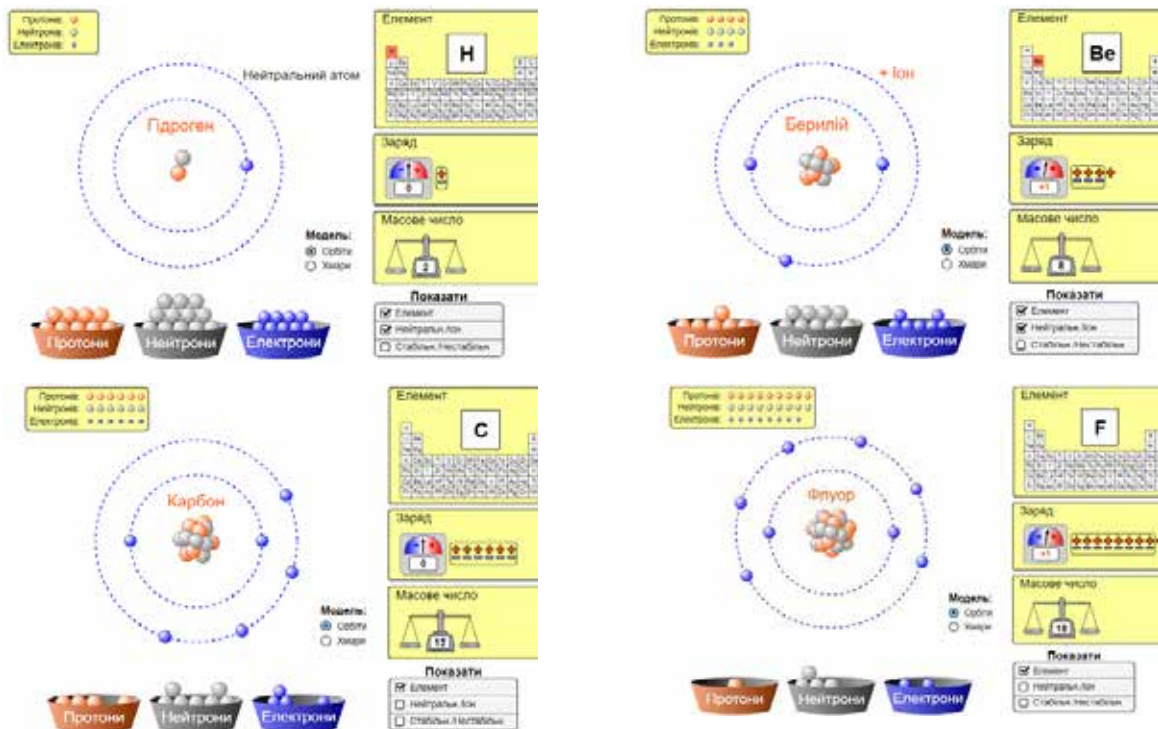
Інтерактивні симуляції PhET є безпечним освітнім середовищем для здобуття учнями знань, набуття вмій та відпрацювання практичних навичок для підготовки до справжніх лабораторних робіт, оскільки симуляції засновані на реалістичному моделюванні та імітації природних явищ [14].

Впровадження віртуальної лабораторії PhET в освітній процес з хімії варто проводити в 7–9 класах, оскільки дослід можна проводити багаторазово для кращого розуміння та запам'ятовування інформації. PhET містить симулятори, за допомогою яких школярі можуть побачити певні хімічні об'єкти, які в реальності показати неможливо, а увявити їх, зважаючи на вік, учням досить складно. Матимуть змогу у формі гри сконструювати певні атоми та молекули, урівнювати коефіцієнти в реакціях, що ще більше зацікавлює та мотивує до вивчення хімії.

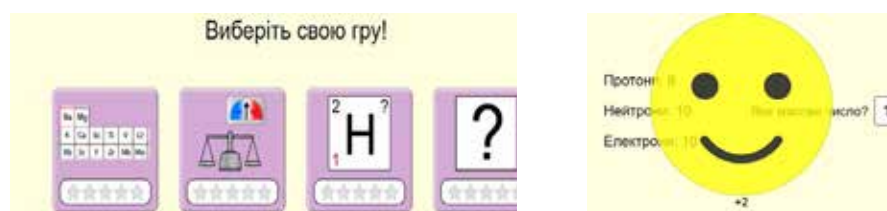
Наприклад, під час вивчення теми «Будова атома. Склад атомних ядер» учень заходить за посиланням https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_uk.html, йому відкривається вікно, у якому він може побуду-



Мал. 2. Робоче вікно з компонентами для побудови атомів



Мал. 3. Побудова моделей атомів Гідрогену, Берилію, Карбону та Флуору



Визначення масового числа

Мал. 4. Перелік ігор у віртуальній лабораторії PhET у симуляції «Будова атома»

вати моделі атомів будь-яких елементів, задавши потрібну кількість протонів, нейтронів та електронів (мал. 2).

У цьому робочому вікні можна не тільки побудувати атоми елементів, а й побачити їх місце в періодичній системі Менделєєва; простежити, як змінюється заряд при зміні кількості компонентів (мал. 3).

У розділ «Символ» учні можуть не просто будувати атоми речовин, а отримати більше інформації про елемент, атом якого вони побудували. У симуляції міститься також розділ «Гра» для узагальнення здобутих знань і закріплення практичних умінь (мал. 4).

Кожна гра має різні завдання, виконуючи які учень може відточити свою майстерність, розвинути відповідні практичні навички та закріпити здобуті знання. Такий ігровий підхід для учнів

є цікавим і досить звичним, тому вони краще сприймають навчальну інформацію. Також цією симуляцією можна скористатися при вивченні теми «Будова електронних оболонок атомів хімічних елементів. Радіус атома», адже тут наявно показані енергетичні рівні.

Під час вивчення теми «Прості та складні речовини» в 7 класі можна скористатися симулятором для побудови молекул (https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-molecule/latest/build-a-molecule_en.html). Він дає можливість моделювати молекули простих та складних речовин. Тому його можна використовувати і в старших класах для побудови та перегляду молекул органічних речовин.

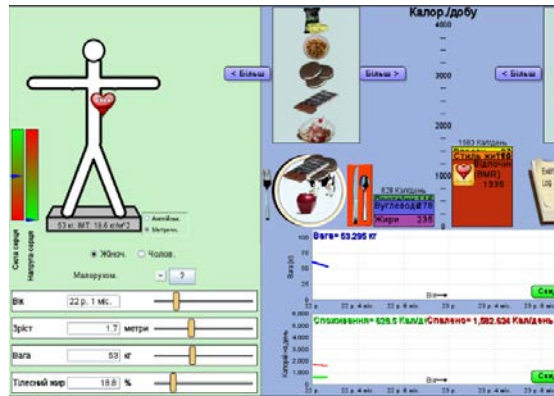
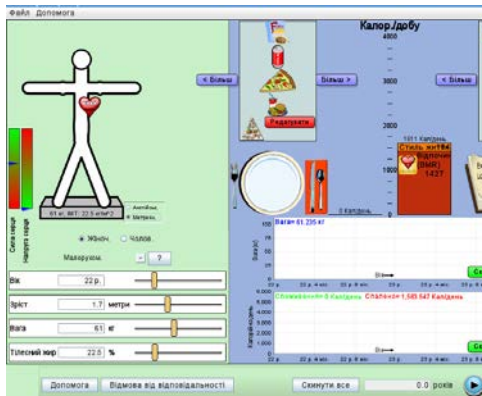
Побудовані молекули можна розглянути у 3D-форматі, рухати та обертати ними, переглядати як зв'язані атоми між собою.



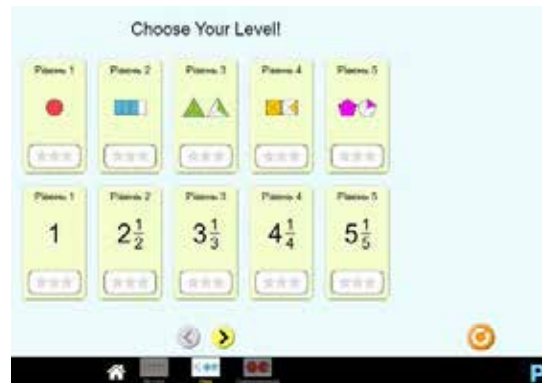
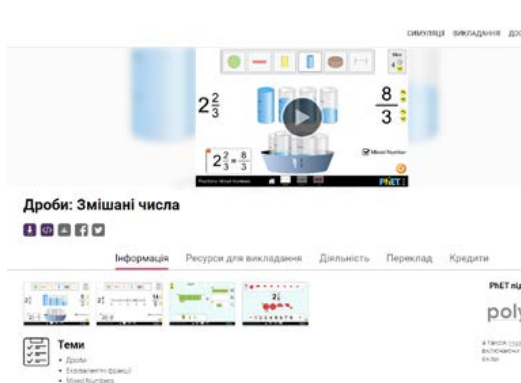
Мал. 5. Проведення маніпуляції при схрещуванні організмів з різними ознаками, зміни популяції при дії негативних чинників

При вивченні біології в 9 класі (теми «Еволюція органічного світу» та «Закономірності успадкування ознак») для кращого сприйняття і розуміння учнями навчального матеріалу доцільно використовувати інтерактивну платформу PhET, у якій є можливість задати різні мутації, провести різні типи схрещувань, переглядаючи родовід; добирати різні природні фактори (хижаки, обмежена їжа) при природному доборі, змінювати пори року та спостерігати процеси, які відбуваються з організмами (кроликами) при цих діях (мал. 5).

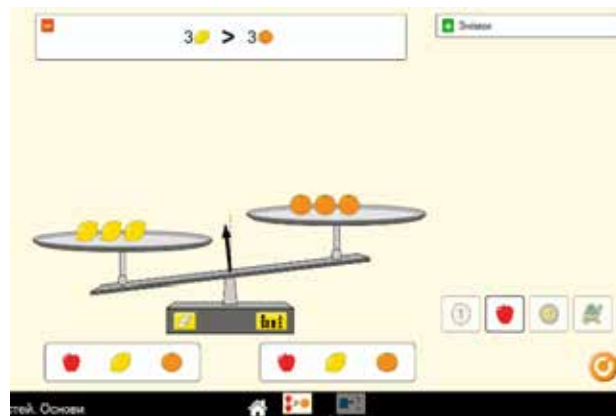
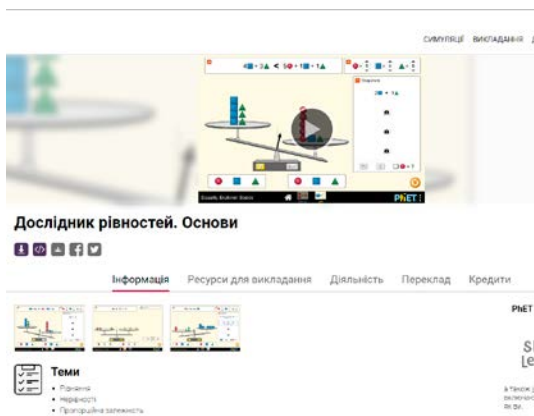
В 11 класі при вивченні теми «Біологічні основи здорового способу життя» можна використовувати стимулятор PhET (<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/eating-and-exercise/latest/eating-and-exercise.html?simulation=eating-and-exercise&locale=uk>), у якому можна задати певні показники (зріст, вік, вагу, відсоток жиру) та проводити різні маніпуляції, вибираючи їжу, фізичні навантаження тощо, спостерігати за зміною показників (мал. 6). У програмі є можливість переглядати калорійність та органічний склад (кількість білків, жирів та вуглеводів) продуктів харчування, переглядати,



Мал. 6. Симулятор PhET «Їжа і вправи» та проведення експерименту



Мал. 7. Симуляція та навчальні матеріали «Дроби. Змішані цифри»



Мал. 8. Симуляція та навчальні матеріали «Дослідник рівностей. Основи»

яку кількість калорій витрачає організм при різних фізичних навантаженнях. Після задоволення потрібних даних можна провести моделювання і побачити, як при вибраному раціоні та фізичній активності буде змінюватися організм, скільки калорій буде витрачати і як це вплине на стан здоров'я. Якщо виникають якісь запитання, програма має функцію «допомога», що значно спрощує роботу.

На базі віртуального симулятора PhET міститься понад 35 симуляцій з математики та та 51 з фізики для 6–11 класів, що інтенсифікують рівень наочності навчального матеріалу й полегшують його сприймання під час вивчення дисциплін.

Так, наприклад симуляція з математики «Дробби. Змішані цифри» https://phet.colorado.edu/sims/html/fractions-mixed-numbers/latest/fractions-mixed-numbers_all.html?locale=uk для учнів 6 класів допоможе пояснити, як зміна чисельника і знаменника впливає на значення дроби, візуалізує утворення змішаних дробів за допомогою чисел і зображень (мал. 7).

До симуляції додається навчальний матеріал, ресурси для викладання та навчальні цілі, яких можна досягнути <https://phet.colorado.edu/uk/simulations/fractions-mixed-numbers>. Також цікавими є розробки уроків і лабораторних робіт із застосуванням симуляції американських вчителів, на які є посилання і відкритий доступ.

Вивчаючи математичні тем у курсі «Пізнаю природу» у 5–6 класах, варто використовувати для наочності віртуальні симуляції. Вікові особливості учнів 5–6 класів зумовлюють краще засвоєння матеріалу у вигляді гри та імітації. До симуляцій додається навчальний матеріал з теми та рекомендовані інформаційні ресурси <https://phet.colorado.edu/uk/simulations/equality-explorer-basics> (мал. 8).

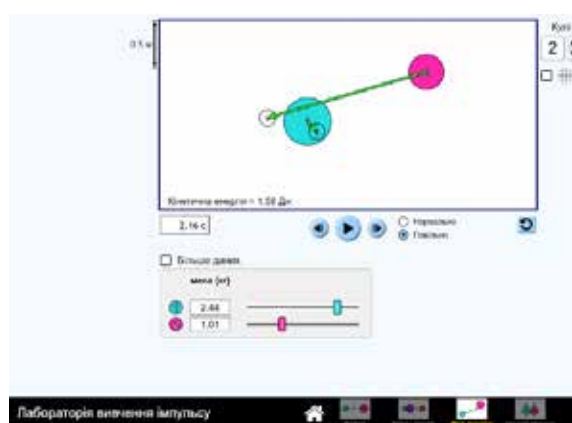
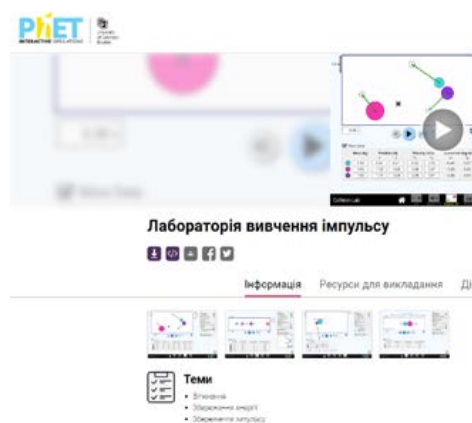
Симуляція «Дослідник рівностей. Основи» допоможе пояснити модель балансу для розв'язання рівняння для невідомого, критичне мислення й визначення значення.

Найбільшу кількість симуляцій і віртуальних лабораторій у віртуальному освітньому середовищі PhET можна використовувати при вивченні фізичних розділів у природознавстві та фізики як окремої дисципліни. Саме у фізичному розділі застосовано багато віртуальних лабораторій, що можуть якісно підвищити рівень засвоєння навчального матеріалу. Так, віртуальна лабораторія «Вивчення імпульсу» <https://phet.colorado.edu/uk/simulations/collision-lab> дасть змогу візуалізувати утворення векторних імпульсів, довести закон збереження імпульсу та пояснити, чому енергія не зберігається при деяких зіткненнях, учитель зможе сформулювати уявлення про еластичність (мал. 9).

До віртуальної лабораторії додається навчальний матеріал, ресурси для викладання та навчальні цілі, яких можна досягнути, розробки уроків і лабораторних робіт американських учителів.

Використання віртуальних лабораторій може відбуватися як самостійно дослідником, так і в умовах взаємодії з керівником через систему дистанційного навчання при виконанні певних завдань. Дистанційно виконувати лабораторні роботи мають принципову відмінність від віртуальних симуляторів. Якщо при виконанні лабораторної роботи за допомогою віртуального симулятора дослідник має можливість тільки навчатися, тобто отримувати навчальну інформацію як заздалегідь відомі результати, то виконувати лабораторні роботи становлять автоматизовану лабораторну роботу з дистанційним керуванням. Тому основним завданням при організації віртуальних робіт є автоматизація процесу вимірювання [8; 11].

Варто підкреслити, що повноцінна навчальна діяльність учнів відбувається тільки при суб'єкт-суб'єктній взаємодії з учителем, а віртуальні лабораторії забезпечують представлення наочного матеріалу, формування практичних умінь [10; 13]. Творчу ж діяльність учнів можливо сформулювати тільки в навчальному діалозі з учителем. Тому



Мал. 9. Віртуальна лабораторія та навчальні матеріали «Лабораторія вивчення імпульсу»

використання комп'ютера не знижує ролі вчителя в освітньому процесі, а навпаки допомагає йому в зацікавленні учнів до вивчення предмета [4].

Доцільно виокремити такі аспекти впровадження віртуальних лабораторій в освітній процес, як переваги та недоліки. На нашу думку, до основних переваг варто зарахувати скорочення навчального часу на проведення експерименту, оскільки у віртуальній лабораторії можливо пришвидшити час проходження реакцій; наочність та простоту виконання дослідів; моделювання процесів, які неможливо провести в лабораторних умовах; низька собівартість та загальнодоступність; демонстрація ідеального експерименту, який відображає реальні природні закономірності та можливість відтворити його однаково багато разів; розвиток в учнів спостережливості, вміння шукати оптимальні рішення, виділяти основне, формувати мету та завдання роботи, розуміти перебіг експериментів та робити належні висновки [3; 6; 12]. Що ж до недоліків – відсутність зворотного зв'язку між вчителем та учнями; неможливість брати безпосередньо участь у досліді та відчувати певні запахи реагентів та продуктів реакції; формування в учнів помилкового погляду стосовно простоти проведення хімічних дослідів та легкості виконання практичних та лабораторних робіт [6; 9; 12]. Враховуючи вищезазначені переваги та недоліки, можна

зробити висновок, що віртуальні лабораторії в освітньому процесі доцільно використовувати як допоміжний компонент, який допоможе учням сприйняти навчальний матеріал максимально ефективно [12].

Висновки. Підсумовуючи вищесказане, можна стверджувати, що інтерактивні віртуальні лабораторії та симулятори PhET є ефективним інструментом для вчителя математично-природничих дисциплін. Розробка та впровадження віртуальних лабораторій і симуляторів в освітній процес є перспективним напрямом його вдосконалення. Застосування таких лабораторій робить освітній процес більш цікавим, наочним, динамічним і ефективним, допомагає мотивувати учнів до дослідницької діяльності, розкривати їхні творчі здібності, поглиблювати знання та розвивати практичні навички, виконуючи лабораторні та практичні роботи, здійснення яких у реальних шкільних умовах було б неможливим. Розробка та впровадження методик роботи у віртуальній освітній лабораторії є перспективним напрямом, що може значно полегшити організацію лабораторно-дослідної роботи вчителів математично-природничих дисциплін. Але варто розуміти, що повністю замінити реальні лабораторні роботи віртуальними не можна, їх доцільно використовувати як доповнення до реальних або в умовах змішаного навчання в закладах освіти.

Література:

1. Бохан Ю., Форостовська Т., Кормош Ж. Запровадження комплексного підходу до хімічного практикуму під час підготовки майбутніх учителів природознавчих дисциплін. *Витоки педагогічної майстерності*. 2018. № 22. С. 34–39.
2. Вараксіна Н. В. Використання віртуальних лабораторій в освіті (аналітичний огляд). *Аналітичний вісник у сфері освіти й науки*: довід. бюл./ НАПН України, ДНПБ ім. В. О. Сухомлинського. 2021. Вип. 14. С. 3–11.
3. Войтович І., Войтович О., Мартинюк Г. Використання віртуальних лабораторій в процесі вивчення хімічних дисциплін. *Наук. зап. Тернопіл. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка*. 2021. Т. 1, № 1. С. 32–41.
4. Галелюка І. Б. Віртуальні лабораторії автоматизованого проектування як інструмент міждисциплінарних досліджень: передумови створення. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2009. № 1(14). С.33–38.
5. Гойванович Н., Стельмах В., Дума С. Використання новітніх освітніх інструментів під час вивчення біології. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «*Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення у контексті сталого розвитку*» (Дрогобич, 27–28 жовтня 2020 р.). Дрогобич, 2020. С. 153–156
6. Клименко Т. А., Гранкіна Т. М. Інформатизація хімічної освіти в школі. Віртуальна хімічна лабораторія. *Хімія. Основа* : Науково-методичний журнал. 2011. № 18. С. 6–9.
7. Литвинова С.Г. Система комп'ютерного моделювання об'єктів процесів та особливості її використання в навчальному процесі закладів загальної середньої освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. Том 64, № 2. С. 48–65
8. Нечипуренко П. П., Томіліна Л. І., Семеріков С. О. Теоретико-методичні засади використання інформаційно-комунікаційних технологій як засобу формування дослідницьких компетентностей старшокласників у профільному навчанні хімії : монографія. *Теорія та методика електронного навчання*. 2018. Том IX. Випуск 1 (9): спецвипуск «Монографія в журналі». 350 с.
9. Окрепка Г. Використання віртуальних тренажерів PhET– Interactive Simulation при викладанні загальної хімії фармацевтам у закладах вищої освіти. *Освітологічний дискурс*. 2020. № 3. С. 192–205.
10. Перерва В. В. Віртуальна біологічна лабораторія як перспективний напрям фахової підготовки майбутнього вчителя. *Науковий вісник Львівської академії. Серія: Педагогічні науки* : зб. наук. праць. 2019. Вип. 5. С. 401–406.
11. Семеніхіна О. В., Шамоля В. Г. Віртуальні лабораторії як інструмент навчальної та наукової діяльності. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2011. № 1 (11). С. 341–345.

12. Шевчук О. П., Жмурко І. Л. Віртуальна лабораторія як один із методів проведення практичних робіт. *Соціально-економічні та гуманітарні аспекти розвитку суспільства* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. у 2-х т. Т. 1. Вінниця: ВНІЕ ТНЕУ, 2018. С. 183–185.
13. Юрченко А. О., Хворостіна Ю. В. Віртуальна лабораторія як складова сучасного експерименту. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Педагогіка»*. 2016. Вип. 2(39). С. 281–283.
14. PhET – Interactive Simulation [електронний ресурс]. URL: <https://phet.colorado.edu/uk/>.
15. Voloshanska S., Monastyrska S., Hoivanovych N. Features of the use of digital technologies in the teaching of biological disciplines. *Digital macro trends and technologies of the XXI century : monograph. Part II*. Edited by Irina Tatomyr, Liubov Kvasnii. Praha: OKTAN PRINT, 2023. P. 207–212

References:

1. Bokhan, Yu., Forostovska, T., & Kormosh, Zh. (2018). Zaprovdzhennia kompleksnoho pidkhodu do khimichnoho praktykumu pid chas pidhotovky maibutnikh uchyteliv pryrodnoznavchykh dystsyplin [Introduction of a comprehensive approach to the chemical workshop during the training of future teachers of natural sciences]. *Vytoky pedahohichnoi maisternosti*. № 22. S. 34–39 [in Ukrainian].
2. Varaksina, N. V. (2021). Vykorystannia virtualnykh laboratorii v osviti (analytychnyi ohliad) [The use of virtual laboratories in education (analytical review)]. *Analytychnyi visnyk u sferi osvity y nauky: dovid. biul. NAPN Ukrainy, DNPB im. V. O. Sukhomlyns'koho*. Vyp. 14. S. 3–11 [in Ukrainian].
3. Voitovych, I., Voitovych, O., & Martyniuk, H. (2021). Vykorystannia virtualnykh laboratorii v protsesi vyvchennia khimichnykh dystsyplin [The use of virtual laboratories in the process of studying chemical disciplines]. *Nauk. zap. Ternopil. nats. ped. un-tu im. Volodymyra Hnatiuka. Serii: pedahohika*. T. 1, № 1. S. 32–41 [in Ukrainian].
4. Haleliuka, I. B. (2009). Virtualni laboratorii avtomatyzovanoho proektuvannia yak instrument mizhdystsyplinarnykh doslidzhen: peredumovy stvorennia [Virtual laboratories of automated design as a tool of interdisciplinary research: prerequisites for creation]. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. № 1(14). S. 33–38. [in Ukrainian].
5. Hoivanovych, N., Stelmakh, V., & Duma, S. (2020). Vykorystannia novitnikh osvitnikh instrumentiv pid chas vyvchennia biolohii [Use of the latest educational tools during the study of biology]. *Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Stan pryrodnykh resursiv, perspektyvy yikh zberezhenia ta vidnovlennia u konteksti staloho rozvytku» (Drohobych, 27–28 zhovtnia 2020 r.)*. Drohobych, S. 153–156 [in Ukrainian].
6. 6Klymenko, T. A., & Hrankina, T. M. (2011). Informatyzatsiia khimichnoi osvity v shkoli. Virtualna khimichna laboratoria [Informatization of chemical education at school. Virtual chemical laboratory]. *Khimiia. Osnova: Naukovo-metodychnyi zhurnal*. № 18. S. 6–9 [in Ukrainian].
7. Lytvynova, S.H. (2018). Systema kompiuternoho modeliuvannia ob'ektiv protsesiv ta osoblyvosti yii vykorystannia v navchalnomu protsesi zakladiv zahalnoi serednoi osvity [System of computer modeling of process objects and features of its use in the educational process in secondary education]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia*. Tom 64, №2. S. 48–65 [in Ukrainian].
8. Nechypurenko, P. P., Tomilina, L. I., Semerikov, S. O. (2018). Teoretyko-metodychni zasady vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnologii yak zasobu formuvannia doslidnytskykh kompetentnosti starshoklasnykiv u profilnomu navchanni khimii: monohrafiia [Theoretical and methodological principles of the use of information and communication technologies as a means of forming the research competences of high school students in specialized chemistry education: monograph]. *Teoriia ta metodyka elektronnoho navchannia*. Tom IX. Vypusk 1 (9): spetsvypusk «Monohrafiia v zhurnali». 350 s [in Ukrainian].
9. Okrepka, H. (2020). Vykorystannia virtualnykh trenazheriv PhET– Interactive Simulation pry vykladanni zahalnoi khimii farmatsevtam u zakladakh vyshchoi osvity [The use of PhET– Interactive Simulation virtual simulators in studying general chemistry to pharmacists in higher education institutions]. *Osvitohichnyi dyskurs*. № 3. S. 192–205 [in Ukrainian].
10. Pererva, V. V. (2019). Virtualna biolohichna laboratoria yak perspektyvnyi napriam fakhovoi pidhotovky maibutnoho vchytelia [Virtual biological laboratory as a perspective direction of professional training of the future teachers]. *Naukovyi visnyk Lotnoi akademii. Serii: Pedahohichni nauky: zb. nauk. prats. Vyp.5*. S. 401–406 [in Ukrainian].
11. Semenikhina, O. V., & Shamonia, V. H. (2011). Virtualni laboratorii yak instrument navchalnoi ta naukovoї diialnosti [Virtual laboratories as a tool of educational and scientific activity]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnologii*. №1 (11). S. 341–345 [in Ukrainian].
12. Shevchuk, O. P., & Zhmurko, I. L. (2018). Virtualna laboratoria yak odyin iz metodiv provedennia praktychnykh robot [Virtual laboratory as one of the methods of conducting practical work]. *Sotsialno-ekonomichni ta humanitarni aspekty rozvytku suspilstva: materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. u 2-kh t. T. 1*. Vinnytsia: VNNIE TNEU. S. 183–185 [in Ukrainian].
13. Yurchenko A. O., Khvorostina Yu. V. (2016). Virtualna laboratoria yak skladova suchasnoho eksperymentu [Virtual laboratory as a component of modern experiment]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii «Pedahohika»*. Vyp. 2(39). S. 281–283 [in Ukrainian].
14. PhET – Interactive Simulation [Electronic resource]. Retrieved from <https://phet.colorado.edu/uk/>.
15. Voloshanska, S., Monastyrska, S., Hoivanovych, N. (2023). Features of the use of digital technologies in the teaching of biological disciplines. *Digital macro trends and technologies of the XXI century: monograph. Part II*. Edited by Irina Tatomyr, Liubov Kvasnii. Praha: OKTAN PRINT. P. 207–212.