

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»

Навчально-науковий інститут математики
та інформаційних технологій

Кафедра математики та інформатики

Зайцев Андрій Михайлович

**ВИКОРИСТАННЯ ОНЛАЙН СИМУЛЯЦІЙ У ДЕМОНСТРАЦІЙНОМУ
ЕКСПЕРИМЕНТІ З ФІЗИКИ**

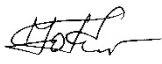
**кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти другого (магістерського) рівня
освітньої програми «Фізика»
за спеціальністю 014 «Середня освіта»**

Особистий підпис



Науковий керівник –  Ліна БОНДАРЕНКО к.пед.н. доц.

Зав. кафедри –



Юрій КОЗУБ д.т.н. професор

Полтава – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ З ФІЗИКИ	
З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	6
1.1 Роль і місце демонстраційного експерименту у шкільному курсі фізики	6
1.2. Цифрові технології при проведенні демонстраційного експерименту.....	11
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОНЛАЙН СИМУЛЯЦІЙ	
У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ.....	16
2.1 Використання онлайн симуляцій в закладах середньої освіти	16
2.2 Підбірка симуляцій	23
РОЗДІЛ 3. ОНЛАЙН СИМУЛЯЦІЇ У ДЕМОНСТРАЦІЙНОМУ	
ЕКСПЕРИМЕНТІ З ФІЗИКИ ЗА ТЕМОЮ “Електродинаміка”	26
3.1. Підбірка онлайн демонстрацій за темою “Електродинаміка” 11 клас	26
3.2 Приклади інструкцій до проведення демонстрацій	35
Висновки	37
Список використаної літератури	39

ВСТУП

Актуальність дослідження. В сучасному світі, де у сфері освіти інформаційні технології набувають все більшого значення, важливим напрямком у викладанні фізики у закладах ЗСО стає використання онлайн демонстрацій. Запровадження цих інтерактивних засобів стає важливим елементом, спрямованим на підвищення ефективності та зацікавленості учнів у навчальному процесі. Онлайн лабораторії не лише розширюють можливості викладачів у поясненні складних концепцій, але й надають учням можливість взаємодії з матеріалом, що сприяє кращому засвоєнню та розумінню предмету.

Перехід до онлайн-навчання обумовлює необхідність ефективного використання віртуальних інструментів, серед яких не останню роль відіграють онлайн демонстрації. Тому розробка дистанційних уроків за допомогою онлайн лабораторій є актуальним завданням для майбутнього вчителя фізики. Практично всі учні зараз мають пристрій з доступом до всесвітньої мережі інтернет: комп'ютер, планшет, ноутбук або телефон не має значення адже більшість освітніх ресурсів та платформ не потребують спеціального програмного забезпечення окрім браузера. Розробкою онлайн лабораторій займаються люди, які намагаються зробити знання доступними для кожного.

Всі зазначені вище фактори обумовлюють актуальність обраної теми дослідження.

Мета: теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити технології застосування онлайн симуляцій у демонстраційному експерименті з фізики.

Об'єкт дослідження: навчальний процес з фізики у закладах загальної середньої освіти

Предмет дослідження: технологія застосування онлайн симуляцій у демонстраційному експерименті з фізики.

Завдання дослідження:

1. Висвітлити роль і місце демонстраційно експерименту у шкільному курсі фізики.
2. Провести аналіз існуючих онлайн симуляцій які можуть бути використані у проведенні шкільного фізичного експерименту
3. Обрати цифрові інструменти для реалізації шкільного демонстраційного експерименту з фізики з використанням онлайн симуляцій.
4. Розробити методологію використання онлайн симуляцій у демонстраційному експерименті з фізики за темою “Електродинаміка”

Методи дослідження:

- теоретичні: аналіз філософської, психолого-педагогічної, науково-технічної та навчально-методичної літератури з проблем дослідження, теоретичний синтез, узагальнення, моделювання педагогічних процесів;
- емпіричні: спостереження навчального процесу.

Наукова новизна роботи полягає у розробці методології використання онлайн симуляцій у демонстраційному експерименті з фізики за темою “Електродинаміка”

Особистий внесок здобувача полягає в уточненні можливостей використання Інформаційних технологій у підготовці здобувачів освіти, розробці методології використання онлайн симуляцій у шкільному демонстраційному експерименті з фізики за темою «Електродинаміка».

Робота буде корисною у процесі підготовки здобувачів закладів загальної середньої освіти зі стрімким розвитком цифрових технологій та у сучасних умовах воєнного стану.

Загальний обсяг роботи – 42 сторінки; 25 джерел; 1 таблиця; 16 рисунків.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку літератури. Перший розділ висвітлює Роль і місце демонстраційно експерименту у шкільному курсі фізики. Показано що розвиток комп’ютерних технологій і Інтернету

дозволяє частково допомогти розв'язанню проблеми відсутності деяких приладів й обладнання і сприяти формуванню в учнів дослідницьких та експериментальних навичок. Наведена підбірка цифрових технологій доцільних для використання при проведенні демонстраційного експерименту з фізики. Другий розділ присвячено особливостям застосування онлайн симуляцій у шкільному курсі фізики. Класифіковані цифрові інструменти які можуть бути використані для відповідної навчальної діяльності. Третій розділ присвячено розробці методології використання онлайн симуляцій у шкільному демонстраційному експерименті з фізики за темою «Електродинаміка».

РОЗДІЛ 1. ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ З ФІЗИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Роль і місце демонстраційного експерименту у шкільному курсі фізики

Згідно з нормами поточних освітніх програм, при викладанні фізики у різних типах навчальних закладів, крім теоретичного матеріалу, важливо проводити шкільний фізичний експеримент (ШФЕ). Кількість таких експериментів чітко визначається програмою і становить понад 200 демонстрацій, які мають такий самий обов'язковий статус, як і теоретичний матеріал.

Хоча існують розділи фізики, де проведення експерименту може бути неможливим для людини, основна увага приділяється практичному використанню фізичних відкриттів, яке необхідно для ретельних досліджень.

Від перших днів вивчення фізики як шкільного предмета фізичний експеримент набуває нового значення. Замість того, щоб бути лише засобом виявлення відхилень відкриттів чи законів, порівняно з природою, в шкільному навчанні він стає потужним інструментом для підтвердження наукових фактів та закріплення знань. Хоча точність може страждати, основна перевага - наочність - залишається. Поруч з іншими методами вивчення фізики, фізичний експеримент відіграє ключову роль.

З інтеграцією високих технологій фізичний експеримент у школі отримує новий статус. Тепер можливо створювати пристрої, відносно прості у виконанні, але дуже точні у відображенні фізичних явищ. В цей період фізичний експеримент стає особливо важливою гілкою у системі покращення вивчення фізики в школі.

Розвиток демонстраційного експерименту розглядався в двох основних напрямках:

1. Визначення можливостей використання експерименту як методу для навчання, виховання та розвитку учнів, як джерела знань, об'єкта вивчення і форми наочності.

2. Забезпечення матеріально-технічних засобів, включаючи обладнання фізичного кабінету, прилади, установки та інше обладнання для проведення демонстраційного експерименту і для здійснення учнями самостійних досліджень. Різноманітні засоби навчання, спільно з приладами, дозволяють вивчати явища і процеси, встановлювати та перевіряти фізичні закони, закономірності тощо.

З інтенсивним розвитком технічних засобів, комп'ютерних технологій та програм відбувається суттєва трансформація шкільного фізичного експерименту. Важливо підкреслити, що припущення, ніби використання новітніх інформаційно-комунікаційних технологій автоматично призведе до підвищення рівня та удосконалення якості шкільного фізичного експерименту, є неправильним. Для досягнення ефективності уроків фізики та покращення якості навчання учнів використання новітніх комп'ютерних технологій вимагає активного дослідження вченими та педагогами-методистами педагогічних технологій для впровадження такого комп'ютерного навчання.

Рівень комп'ютерної грамотності вчителів і учнів стрімко зростає, із цим пов'язані нові програмні педагогічні інструменти, програми, комп'ютерно-орієнтовані прилади та обладнання. Все це потребує розробки нових підходів до методики викладання, впровадження нової педагогічної технології навчання та розробки нових педагогічних підходів до викладання. Учитель та підручник втрачають свою раніше визначену ексклюзивність як джерела знань. Ключовою метою стає те, щоб учні навчилися самостійно здобувати знання, використовуючи різноманітні ресурси та джерела інформації, і вміли обробляти цю інформацію за допомогою різних методів пізнавальної діяльності. Сама пізнавальна діяльність має виходити за межі лише отримання знань. Сучасне життя та виробництво вимагають від учнів формування нових якостей, вмінь і компетенцій, необхідних для успішного існування в умовах економіки знань 21 століття. Важливо передбачити, що молодь володіє вмінням та здатністю активно використовувати отримані знання для вирішення реальних проблем. "Організація такої самостійної діяльності передбачає використання передових педагогічних технологій, які

відповідають специфіці розвиваючого навчання, стимулюють виявлення внутрішніх резервів кожного учня і одночасно сприяють формуванню соціально значущих якостей особистості" [7]. Такі сучасні педагогічні підходи повинні включати елементи педагогіки співпраці, технології скафолдінгу і формувального оцінювання.

Розвиток комп'ютерних технологій та Інтернету дозволяє частково вирішити проблему відсутності деяких приладів та обладнання, сприяючи при цьому формуванню у учнів дослідницьких та експериментальних навичок. Важливо зауважити, що комп'ютерне моделювання не може абсолютно замінити реальний фізичний експеримент та виконання практичних та лабораторних робіт учнями. Інтерактивні комп'ютерні моделі можна використовувати в освітньому процесі як супровід для реального експерименту або альтернативу йому. Під час підготовки та проведення реального фізичного експерименту вчителю слід враховувати ряд факторів (5):

1. Перед проведенням реального експерименту вчитель повинен вибрати необхідні прилади (якщо такі є).
2. Учитель самостійно повинен провести експеримент кілька разів перед уроком для визначення його точності, проте немає гарантії успішного його проведення під час самого уроку.
3. Деякі експерименти неможливо зупинити у потрібному місці для детального розгляду демонстрованого явища.
4. З браку часу на уроці не завжди вдається повністю продемонструвати експеримент.
5. Не завжди вчителю вдається правильно виконати та пояснити експеримент без належної документації до приладів, що використовуються під час проведення експерименту.

У викладі фізики в класі можуть виникнути труднощі через різноманітні причини:

- Надто значні або надто малі розміри необхідного для демонстрації обладнання, такого як прискорювачі елементарних частинок, ядерні реактори, ядра атомів тощо.

- Дуже швидкий або, навпаки, дуже повільний розвиток процесів, таких як ланцюгова ядерна реакція, явище радіоактивності, рух планет та комет тощо.

- Можливий негативний вплив деяких явищ і процесів на організм людини, таких як радіоактивні речовини, гамма-промені, рентгенівські промені.

- Великі значення певних параметрів системи, таких як швидкість, тиск, температура.

- Складність використання окремих приладів і установок, а також їх висока вартість. Однак комп'ютерні моделі дозволяють уникнути більшості цих недоліків.

Серед переваг використання ІКТ в демонстраційних експериментах слід відзначити, на мою думку, наступні:

- Можливість зупинити комп'ютерне моделювання в будь-який момент та проаналізувати хід експерименту разом із учнями.

- Можливість повторити комп'ютерний експеримент декілька разів (за умов наявності достатнього часу на уроці), а також видати його учням для самостійного перегляду та виконання досліджень на електронних носіях.

- Здатність відобразити на екрані будь-які дрібні деталі експерименту.

- Можливість демонстрації та виконання експерименту, який через свою небезпеку не можливо представити в класі, змінюючи параметри.

- Здатність показати експеримент, який вимагає устаткування, що відсутнє в фізкабінеті, або для якого потрібні дорогі вимірювальні прилади та обладнання.

- Можливість демонстрації граничних випадків (наприклад, короткого замикання) без ризику пошкодження приладів, які зазвичай не показують на уроці.

- Краща візуалізація невидимих об'єктів, таких як силові лінії магнітного та електричного полів, зони з різною провідністю в напірно-відводячих провідниках, рух електричних заряджених частинок, що сприяє глибшому розумінню фізичних процесів.

- Можливість управління деякими елементами демонстрації для підвищення їхньої наочності, наприклад, зміни кольору важливих об'єктів, їх швидкості, звуку, форми тощо.

Успішне використання імітаційних моделювань значною мірою залежить від якості відповідних програмних продуктів, супроводжених чіткими інструкціями з їхнього використання. Серед недоліків можна відзначити необхідність додаткового витратного обладнання у класі, такого як мультимедійний проектор, комп'ютер та екран. Українські вчителі застосовують безкоштовні моделі, які можна завантажити з сайту Phet (<http://phet.colorado.edu>). Ці моделі, створені широкою командою науковців і IT-фахівців, користуються підтримкою міжнародної спільноти вчених і вчителів з понад 70 країн світу. Більшість моделей з цього ресурсу, призначених для включення в шкільний курс фізики, перекладені українською мовою. Для проведення демонстраційного експерименту з використанням моделей з сайту Phet потрібен комп'ютер, мультимедійний проектор та екран у класі. У разі, якщо учні самі експериментують, необхідно кілька комп'ютерів. При наявності вчителя, який володіє сучасними педагогічними технологіями співпраці, учні можуть ефективно працювати у невеликих групах або парами, проводячи комп'ютерний експеримент і обговорюючи його з однолітками. Підключення до Інтернету не є обов'язковим, оскільки всі моделі можна завантажити на комп'ютер чи носії інформації, щоб використовувати їх у класі або надавати для виконання завдань вдома.

Оскільки аналіз попередніх досліджень вказав на переважно позитивний вплив використання віртуальних лабораторій на практичне навчання учнів фізики, гіпотеза полягає в тому, що комбінування віртуальних лабораторій та реальних практичних завдань призведе до підвищення успішності учнів у лабораторії загальної фізики. Важливість цього дослідження полягає в спробі заповнити прогалину, утворену неоднозначними результатами попередніх досліджень ефективності використання віртуальних лабораторій у навчанні фізики. Результати надають докази впливу

використання віртуальних експериментів на успішність студентів з використанням запропонованої моделі. Крім того, модель передбачає збереження часу студентів, який вони витрачають у лабораторії, і дозволяє їм проводити експерименти практично вдома (або де є доступ до Інтернету) відповідно до свого графіку навчання. Це також враховує можливість зменшення фізичного контакту між студентами та викладачами під час COVID-19. Результати цього дослідження пропонують університетській освіті рішення та альтернативи для подальшого розвитку дистанційного навчання, забезпечуючи учням необхідні практичні та наукові навички навіть у ситуаціях обмежень на пересування та інших обставин, пов'язаних із пандемією та війною.

1.2. Цифрові технології при проведенні демонстраційного експерименту

Фронтальні лабораторні роботи та роботи лабораторного практикуму можуть бути здійснені через використання цифрових вимірювальних комплексів, програмного забезпечення навчального призначення (ПЗНП), ресурсів Інтернету, комп'ютерних програм для обробки результатів та інших засобів. Використані засоби сприяють не лише розвитку основних предметних компетентностей, але й розвитку інформаційно-цифрової компетентності та навичок:

- використання сучасних мобільних пристроїв як інструментальних та вимірювальних засобів;
- робота з віртуальними лабораторіями та програмами-симуляторами;
- створення та вивчення моделей фізичних явищ та інше.

Для вирішення цих завдань пропонується використовувати комп'ютерні симуляції, які є максимально реалістичними імітаціями певних процесів. У створенні віртуального середовища для спостереження за фізичними процесами вирішили взяти участь науковці з Колорадського університету, які створили PhET Interactive Simulations.



Рис 1.1 Phet Simulations

Сайт інтерактивних симуляцій PhET (Physics Education Technology) використовується для віртуального моделювання у процесі вивчення природничих наук. Проект "PhET" спочатку створювався для освітніх технологій у фізиці, але пізніше був розширений і на інші дисципліни. Сайт містить понад 200 моделей на різних рівнях складності з фізики, хімії, біології, математики та інших природничих наук, які можна використовувати безкоштовно для організації дистанційного навчання з фізики та астрономії.



Рис 1.2 Tracker Video Analysis and Modeling Tool

Tracker - це безкоштовний інструмент, призначений для моделювання та аналізу руху об'єктів на відео чи зображеннях, особливо корисний у фізиці. Програму можна завантажити безкоштовно. На веб-сайті Інституту післядипломної освіти Київського університету імені Бориса Грінченка для вчителів фізики та астрономії детально

пояснено, як працювати з цією програмою, подаються приклади експериментальних досліджень, які учні можуть провести вдома. Якщо комп'ютерні симуляції можна порівняти із "дослідницькою лабораторією", то інші програмні засоби можна вважати "обчислювальними центрами". Разом вони дозволяють молодим дослідникам самостійно проводити експерименти в домашніх умовах, вивчати закономірності і оволодіти методами наукового пізнання.

Graph - це програма з відкритим кодом, призначена для побудови математичних графіків. Програма вміє будувати графіки різних функцій і рівнянь, створювати таблиці, креслити графіки, що проходять через задані точки, робити обчислення екстремумів і нульових точок і т.д. Програму також можна завантажити безкоштовно, а при інсталяції є можливість вибрати мову.



Рис. 1.3 GeoGebra

GeoGebra - це абсолютно безкоштовний інструмент, спрямований на вчителів середньої школи та учнів. Він дозволяє легко створювати графіки, фігури та вектори, вирішувати графічно рівняння та виконувати різні обчислення. Наприклад, GeoGebra може використовуватися для розрахунку інтегралів, площі фігур, довжини траєкторій та вивчення будь-яких функцій. За останній час GeoGebra все більше набуває популярності як інструмент для створення динамічних фізичних моделей. На веб-сайті Інституту післядипломної освіти Київського університету імені Бориса Грінченка для вчителів

фізики та астрономії наведені приклади експериментальних досліджень, які учні можуть провести самостійно вдома.



Рис 1.4 Go-Lab

GoLab - найбільший безкоштовний ресурс, що включає в себе онлайн-лабораторії з різних предметів, таких як хімія, фізика, математика, біологія, географія та інші. З метою спрощення користування та перекладу, оскільки сервіс має інтерфейс англійською мовою, можна скористатися вбудованим перекладачем браузера.

Використання симуляцій сприяє увазі учнів на основні аспекти явищ і процесів, полегшуючи їх уявлення та розуміння. Значне підвищення рівня розуміння фізичних процесів учнями можливо, якщо їм надають конкретні завдання для перегляду моделей перед демонстраційним експериментом та після нього (в реальному та комп'ютерному моделюванні), а також можливість обговорити їх виконання та результати з однолітками. Забезпечення учням доступу до інтерактивних моделей необхідно не лише в школі, але й вдома для виконання домашніх завдань. Ключовим є не лише самі питання, але і послідовність, в якій вони опрацьовуються учнями. Важливо враховувати, що інструкції, надані учням для роботи з моделями, мають бути оптимальними для

їхнього віку та навчальних потреб. Для користування інтерактивними комп'ютерними моделями слід виконати наступні етапи:

1. Перед тим як використовувати інтерактивні комп'ютерні моделі для демонстрації, учні повинні відповісти на запитання, що стосуються прогнозу того, як зміни параметрів у віртуальних експериментах впливатимуть на результат.

2. Концептуальні питання та їх відповіді обговорюються перед ознайомленням учнів з моделюванням. Учні фіксують свої попередні відповіді для подальшого порівняння з експериментальними результатами.

3. Учні знайомляться з комп'ютерними моделями, визначаючи змінні та сталі параметри, умови змін величин та їх характеристики.

4. Учні проводять експеримент і фіксують відповіді на концептуальні питання.

5. Учні складають висновки щодо своїх припущень і результатів експерименту.

6. Спільна учнівська дискусія на тему висновків проводиться (в режимі онлайн або офлайн). Важливо, щоб вчитель контролював цю дискусію, пристосовуючи свій рівень втручання відповідно до здатностей учнів у проведенні обговорень. Усі ці засоби служать як допоміжні елементи під час наукових досліджень учнів, аналізу результатів та не можуть замінити реальний експеримент в лабораторії. Навпаки, вони розширюють можливості вчителя та учнів у організації наукових досліджень під час дистанційного навчання.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОНЛАЙН СИМУЛЯЦІЙ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ

2.1. Використання онлайн симуляцій в закладах середньої освіти

Вчителі та дослідники, які активно використовують інтерактивні моделі в роботі з учнями, відзначають, що у таких класах вдається досягти вищих результатів навчання. Зокрема, ефективність використання моделювання зростає, коли учням пропонують моделі, що дозволяють їм "спостерігати" за явищами та процесами, що зазвичай недоступні для спостереження у звичайних, традиційних експериментах (наприклад, рух електронів при проходженні струму в провідниках або взаємодія молекул у рідинах і газах). Поєднання реальних та комп'ютерних моделей під час демонстрації експериментів, які неможливо провести в класі (наприклад, експерименти з атомної та ядерної фізики, такі як дослід Резерфорда або вивчення будови атома), значно підвищує ефективність використання таких моделей.

Важливо відзначити, що розуміння фізичних процесів учнями суттєво зростає, якщо їм надають конкретні завдання для аналізу на моделях перед та після демонстраційних експериментів і можливість обговорювати їх із своїми однолітками. Використання комп'ютерного моделювання само по собі не гарантує успіху у навчанні учнів. Ключовим аспектом стає те, як саме учні та вчителі взаємодіють із цими моделями, які форми супроводу надаються під час навчання, і наскільки особистісно залучені учні під час експериментів.

У процесі розв'язання фізичних задач важливо враховувати різницю між завданням, що надане ззовні, та його фактичним розв'язком. Співставлення цих елементів є фундаментальним, оскільки учень займається розв'язанням лише тих завдань, які мають особистісний смисл для нього. Як вказував С. Л. Рубінштейн, присвоєння особистісного смислу завданню, що надається ззовні, є необхідною умовою для переходу навчальної дії в завдання для суб'єкта навчання.

Дослідники та вчителі, що використовують моделювання, відзначають, що успіх суттєво залежить від того, як організований навчальний процес, і важливо, щоб учні мали доступ до інтерактивних моделей не лише у школі, але й вдома для виконання домашніх завдань. Особливу увагу слід зосереджувати на формулюванні завдань та постановці запитань щодо роботи з моделями. Важливо не лише самі питання, але й послідовність, у якій вони розглядаються учнями. Важливо зауважити, що інструкції, які надаються учням щодо роботи з моделями, повинні бути спрямовані на оптимальний супровід навчання, враховуючи вік та освітні потреби учнів.

Дослідники, які співпрацюють з веб-сайтом PhET, регулярно проводять інтерв'ю з учнями, використовуючи настанови різного рівня деталізації щодо використання моделювань. Вони виявили, що рівень інструкцій, які вчитель надає учневі з використання моделювань, суттєво впливає на розуміння учнями явищ і процесів. Мінімальне, але не нульове, керівництво багатьма з цих симуляцій сприяє оптимальному рівню дослідження та засвоєння матеріалу.

Дослідники підкреслюють, що для отримання учнями концептуального розуміння явищ і процесів важливо перед демонстрацією інтерактивних комп'ютерних моделей задавати їм конкретні запитання щодо прогнозування того, що відбудеться при зміні певних параметрів віртуальних експериментів.

Діяльність учнів планується з використанням етапів планово-етапного формування розумових дій за теорією П. Я. Гальперіна. К. Крауч та інші [8] продемонстрували, що учні здобувають мало нових знань при традиційному проведенні демонстраційного експерименту, коли в класі представляються демонстрації з поясненнями вчителя щодо того, що відбувається. Перед проведенням демонстраційного експерименту важливо виділити учням декілька хвилин для роздумів і формулювання можливих прогнозів та запису своїх ідей. Цей підхід спонукає зацікавленість учнів і сприяє кращому усвідомленню того, що відбувається під час демонстрації. Така вмотивованість сприяє власному ставленню до вивченого матеріалу та особистісному залученню кожного до експерименту.

Важливо, щоб кожен учень формулював свої передбачення і записи. Записи можуть бути проведені не лише у зошитах, а й зафіксовані вголос на диктофон (який зазвичай є у кожного учня на мобільному телефоні). Такі питання, передбачення і роздуми є важливими не тільки під час традиційного демонстраційного експерименту, але й у роботі з комп'ютерними моделями, особливо при наявності комп'ютерів у кожного учня.

Для вчителя, який працює з інтерактивними комп'ютерними моделями, важливо знаходити оптимальні пояснення та запитання, а також визначати, наскільки деталізовані мають бути інструкції для проведення комп'ютерних дослідів. Особливості таких методичних прийомів пов'язані з тим, що моделювання, на відміну від реальних приладів, вже містять певний рівень пояснень і інструкційного матеріалу, наприклад, стрілки, які показують напрямок руху магнітів або напрямок руху тіл. Моделі створені так, щоб самотійно стимулювати учня до запитань такого типу: "Що відбудеться, якщо...?".

Було проведено різні типи інтерв'ю з учнями, використовуючи моделі Phet [10]. Учням були надані однакові дослідницькі завдання, але з різним рівнем інструктування щодо їх виконання. Дослідження виконувалися в групах учнів (по 15 осіб у кожній групі), і час на виконання завдань не був обмежений. Було визначено та порівняно чотири різних типи інструктування та супроводу для учнів: 1 тип - без інструкцій, 2 тип - інструкції з сутнісними ключовими запитаннями щодо явищ і процесів, 3 тип - інструкції змістовними запитаннями, 4 тип - докладні, крок за кроком інструкції.

Під час роботи з інструкцією 1 типу учням не надавались жодні інструкції або пояснення, їм пропонувалося експериментувати з моделями і визначати основні закономірності фізичних явищ, процесів та дослідів. Учні, які вивчали моделі лише з таким мінімальним рівнем інструктування, проводили певний час експериментуючи з різними параметрами моделей. У разі надто складних моделей учні не могли взагалі провести дослідження та сформулювати висновки. Якщо моделі не мали цікавого дизайну, який заохочував би до дослідження, учні швидко відмовлялися від них і не

намагалися провести дослідження. Якщо ж моделі створювалися з урахуванням привабливого дизайну для спонукання до дослідження, учні поступово засвоювали фізичне явище чи процес, визначаючи вплив різних факторів. При цьому учні самостійно формували питання та намагалися на них відповісти.

Під час роботи за інструкцією 2 типу учні перед початком роботи з моделями отримували відкриті концептуальні запитання, такі як "Чи може магніт впливати на електрони?" або "Як можна створити потужний магніт?".

Ці запитання та обговорення їх відповідей відбуваються перед ознайомленням учнів із моделюванням. Щоб у подальшому порівняти їх з експериментальними результатами, учні записують свої попередні відповіді. Під час вивчення моделювання лише з цими направляючими запитаннями виявлено, що учні експериментували з різними елементами моделі, формували висновки на власний розсуд, але часто пропускали деякі суттєві аспекти. Так само, як і при навчанні за 1 типом, якщо моделі були складними або без цікавої привабливої анімації, учні швидко відмовлялись від роботи з ними, не знаходячи відповіді на поставлене завдання. Вони продовжували пошук відповідей на концептуальне запитання лише після втручання вчителя та ставлення йому допоміжних запитань. Значущою перевагою цих відкритих концептуальних запитань є те, що для деяких моделей учні досліджували явища та процеси більш глибоко, ніж учні першої групи. Супровід такого типу є важливим, коли необхідно звернути увагу учнів на ключові фізичні концепції та закономірності.

Під час навчання за 3 типом інструктування учням ставилися докладні та дуже прості запитання, розпочинаючи з ідентифікації основних елементів моделі, що відображені на моделі та панелі інструментів. Це були конкретні запитання такого характеру: "Для чого призначений елемент "величина сили", і як його можна контролювати?", "Що відбувається, коли переміщуєте повзунок "ОПР" на правій бічній панелі?". При такому навчанні учні в основному обмежувались відповідями на ці конкретні запитання, рідко виходячи за межі цих питань і виявляючи обмежений інтерес та допитливість. Цей тип запитань та інструкцій абсолютно не заохочує учнів генерувати

власні питання. Часто вони не можуть навіть встановити зв'язок між отриманими знаннями в результаті використання моделювань та їх попередніми уявленнями про сутність фізичних явищ і процесів. Їхні дії обмежуються пошуком "правильних" відповідей на запитання вчителя, а не дослідженням явищ і процесів та розумінням їхньої сутності. Такий підхід може бути корисним лише у випадку, коли учням необхідно ознайомитися з абсолютно новим для них моделюванням, яке є складним і комплексним, при умові, що після цієї діяльності з моделюванням вони повертаються до початку дослідження, проходять його знову з іншим типом інструктування або їм ставлять загальнопізнавальні, цікаві і сутнісні питання, що сприятимуть глибшому розумінню фізичного явища/процесу/досліду. У навчанні за використанням цього типу запитань можна досягти глибокого розуміння концепцій/явищ і процесів учнями, але лише при умові, що запитання будуть дуже уважно сплановані вчителем і поставлені в дуже обдуманій послідовності.

Навчання за четвертим типом інструктування має різний підхід. Цей метод відомий як "готові рецепти". Під час супроводжувачого інструктування для вивчення моделювань, наприклад, закону Фарадея, учням подається наступне завдання: "Ви проведете аналіз моделювання "Закон Фарадея" у віртуальній лабораторії електромагнетизму і отримаєте питання для розуміння закону Фарадея. У цьому моделюванні виберіть будь-який з таких варіантів: а) плоский магніт, б) котушка з током в) електромагніт, г) трансформатор і д) генератор. На правій частині екрану розташований повзунок для зміни властивостей магніту, а також варіанти для включення показників магнітного поля. Магнітне поле можна розглядати як лінії магнітного поля або за допомогою магнітних стрілок. Під час перегляду моделювання дійте наступним чином. 1. Оберіть вкладку із плоским магнітом. Ви можете переміщувати магніт. Уважно спостерігайте за тим, що відбувається. Опишіть свої спостереження. 2. Чи змінюється магнітний потік? Якщо так, то чому? Тепер виберіть іншу вкладку, наприклад, котушку...". В більшості класів вчителі використовують моделювання саме для демонстрації, подавши такі інструкції. Проте при такому підході

дуже небагато учнів фактично читають весь текст. Вони зазвичай вибираються до питань у тексті та намагаються на них відповісти. Вони використовують моделювання лише в тому випадку, якщо не можуть відповісти на запитання без його використання. У цьому випадку учні не проводять жодних досліджень, які можуть поглибити їхнє розуміння явища або закону. За такого підходу учні отримують лише поверхневі знання. Конкретні і покрокові інструкції найчастіше призводять до того, що учні бояться самостійно випробовувати різні можливості та експериментувати. Вони часто ставлять питання, що робити далі. Такий тип інструктування створює бар'єр між учнями та інтерактивними моделюваннями.

Використання моделювання у навчанні є частиною підходу "викладання" з боку вчителя, аналогічного до проведення реальних демонстраційних експериментів у традиційній освіті. У цьому випадку учні не активно вивчають матеріал самостійно та не формулюють власні запитання для проведення досліджень. Такий спосіб використання моделювань призводить до обмеженого розуміння фізичних явищ і процесів. В результаті опитування школярів українських пілотних шкіл ІТЗН, розділених на дві групи, з питань переваг використання інтерактивних комп'ютерних моделей для вивчення геометричної оптики, більшість учасників першої групи, які отримали детальні покрокові інструкції, вказують на те, що вони з цікавістю освоюють фізику, користуючись моделюваннями (рис. 2.1.).

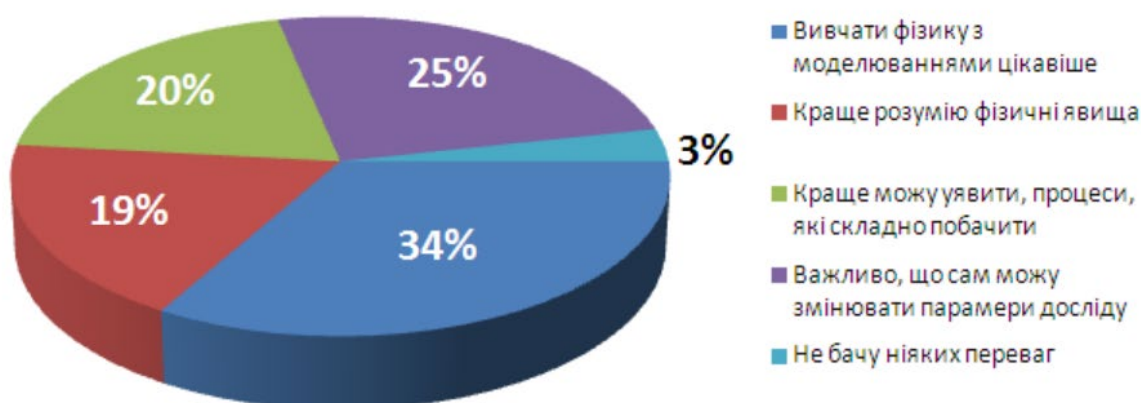


Рис. 2.1. Перша група

У другій групі учнів перед виконанням завдання вони отримали ключові, сутнісні запитання, які обговорювали разом і висували свої гіпотези, проте докладні інструкції не надавалися. Більшість учасників цієї групи підкреслили, що для них важливим є зрозуміння процесів, які неспостережні, та розуміння фізичних явищ, зокрема проходження променів через лінзу та утворення зображення (рис. 2.2.).

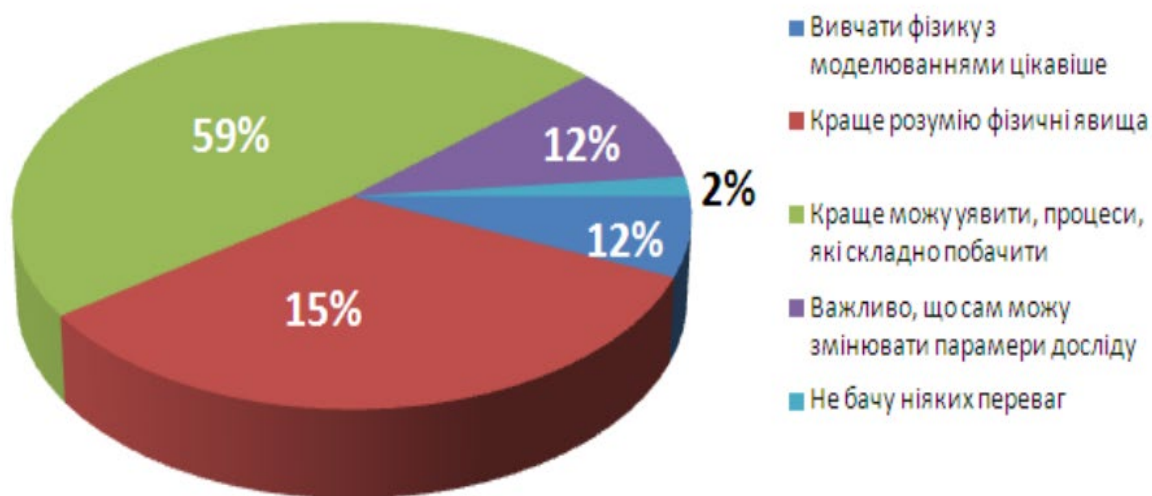


Рис. 2.2. Друга група

Підтверджено, що кращі результати щодо розуміння фізичних процесів, концепцій і закономірностей можна досягти, використовуючи другий тип навчання, де учням ставиться цікаве концептуальне запитання, що спонукає їх до роздумів і активного усвідомлення знань. Тим не менше, навчання за таким підходом сприяє розвитку у учнів навичок самостійного вивчення, формулювання власних запитань, висування гіпотез та експериментальної перевірки. Кожен тип супроводу є важливим у певних умовах, враховуючи навчальні цілі вчителя та потреби учнів.

2.2. Підбірка симуляцій

Таблиця 2.1

Назва	Посилання	Характеристика
PhET	https://phet.colorado.edu/uk/	PhET надає веселі, безкоштовні, інтерактивні науково-математичні симуляції, засновані на наукових дослідженнях. Розробники ретельно перевіряють та оцінюють кожне моделювання, щоб забезпечити ефективність навчання. Ці тести включають опитування студентів і спостереження за використанням моделювання в класах. Симуляції написані на HTML5 (з деякими застарілими симуляціями на Java або Flash), і їх можна запускати онлайн або завантажити на свій комп'ютер. Усі симуляції є відкритими. Численні спонсори підтримують проект PhET, завдяки чому ці ресурси є безкоштовними для всіх студентів і викладачів.
Go-Lab	https://www.golabz.eu/	Головна мета порталу Go-Lab – забезпечити просту та якісну платформу для вчителів та учнів навчальних закладів у сфері природничої освіти та шкіл, яка сприяє їхньому дослідницькому навчанню. Зокрема, вчителям-користувачам портал надає близько тисячі лабораторій, більше 50 додатків.

Назва	Посилання	Характеристика
Vascak	https://vascak.cz/	На сайті vascak.cz можна знайти десятки симуляцій на величезну кількість тем з фізики, хімії та математики, усі вони мають приємний та зрозумілий дизайн.
Walter Fendt	https://walter-fendt.de/	Цей веб-сайт містить низку симуляцій, що стосуються широкого кола тем у фізиці. Теми включають механіку, коливання та хвилі, електродинаміку, оптику, термодинаміку, теорію відносності, атоми та ядерну фізику. Є також посилання на аплети з математики та астрономії. Матеріали доступні багатьма мовами, у тому числі і українською.
Seilias	https://seilias.gr/	seilias.gr представляє собою десятки онлайн лабораторій та симуляцій на такі розділи з фізики як: механіка, коливання і хвилі, електрика, термодинаміка оптика та інші.
Amrita Virtual Lab	https://vlab.amrita.edu/	Віртуальна лабораторія в Amrita Інтелектуальна розробка віртуальних лабораторій із сучасною технологією комп'ютерного моделювання для створення реальних середовищ і можливостей вирішення проблем відсутності реального обладнання.

Продовження Таблиці 2.1

Назва	Посилання	Характеристика
Labster	https://www.labster.com/	Допомагає викладати складні теми фізики для курсів середньої школи та університетів із цікавим науковим моделюванням. Віртуальні лабораторії допомагають студентам візуалізувати абстрактні поняття та зрозуміти фізику в контексті реального світу. Демонструє, як фізика застосовується в реальному світі за допомогою інтерактивних уроків, які втілюють науку в життя.

РОЗДІЛ 3. ОНЛАЙН СИМУЛЯЦІЇ У ДЕМОНСТРАЦІЙНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ З ФІЗИКИ ЗА ТЕМОЮ “ЕЛЕКТРОДИНАМІКА”

3.1. Підбірка онлайн демонстрацій за темою “Електродинаміка” 11 клас

Залежність електричного струму від ЕРС джерела та повного опору кола.

За підручником Фізика 11 клас Засекіна Т.М., Засекін Д.О. можна зробити онлайн демонстрацію у просторі PhET(рис.3.1.), seilias.gr(рис.3.2.) або Walter Fendt (рис.3.3.).

Сила струму в колі залежить від трьох величин, дві з яких (ЕРС і внутрішній опір) характеризують джерело, а третя залежить від самого кола. При використанні конкретного джерела електричної енергії \mathcal{E} і r можна розглядати як константи. Змінюючи опір зовнішнього кола, змінюється сила струму I в колі і падіння напруги IR на зовнішній частині кола. Зі збільшенням опору зовнішнього кола сила струму зменшується, а напруга зростає. При $R = \infty$ (коло відкрите), сила струму $I = 0$, падіння напруги всередині джерела відсутнє, і напруга на полюсах джерела дорівнює його ЕРС.

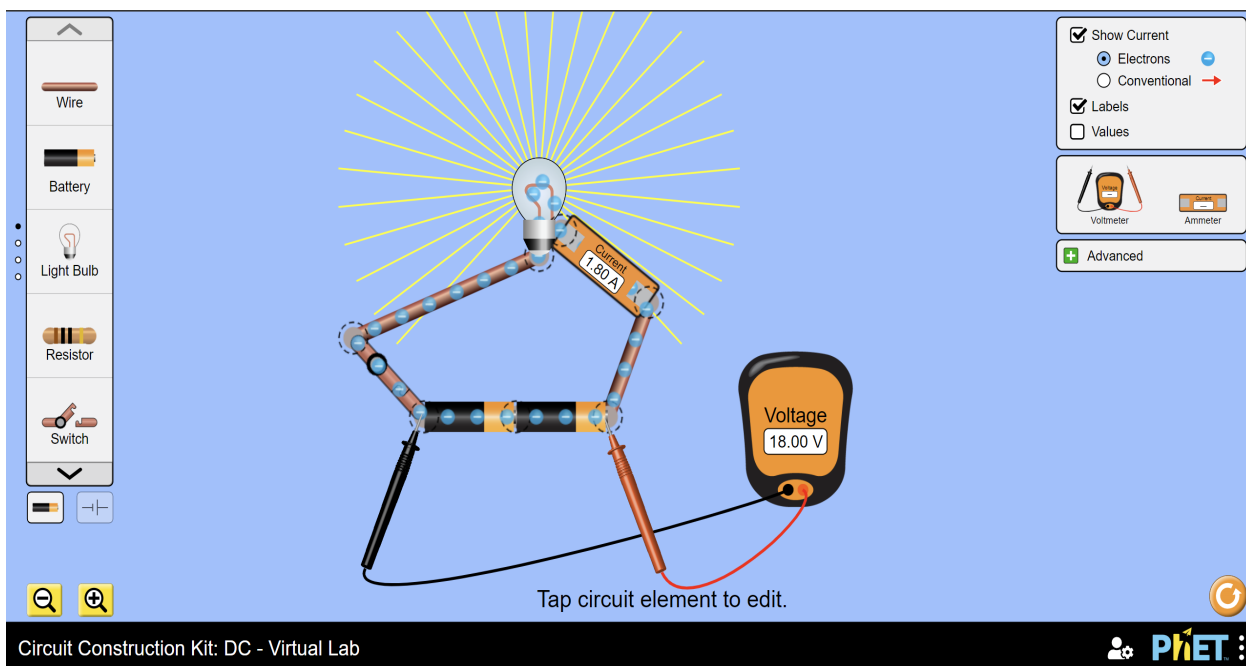


Рис. 3.1. Віртуальна лабораторія PhET «Circuit Construction Kit: DC»

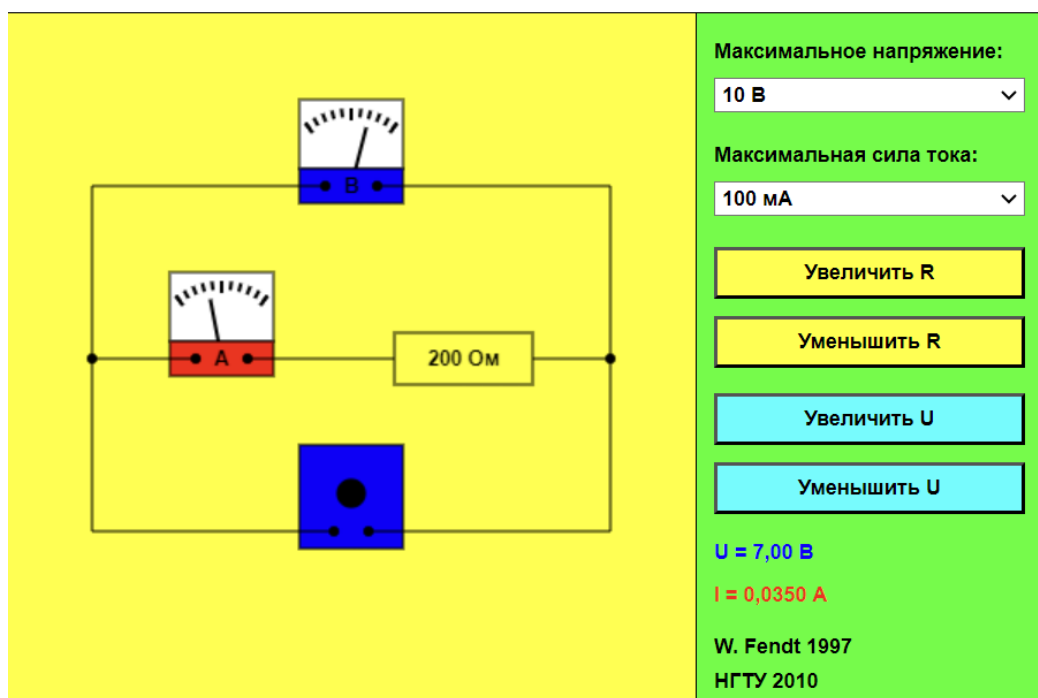


Рис 3.2. Онлайн симуляція Walter Fendt «Закон Ома»

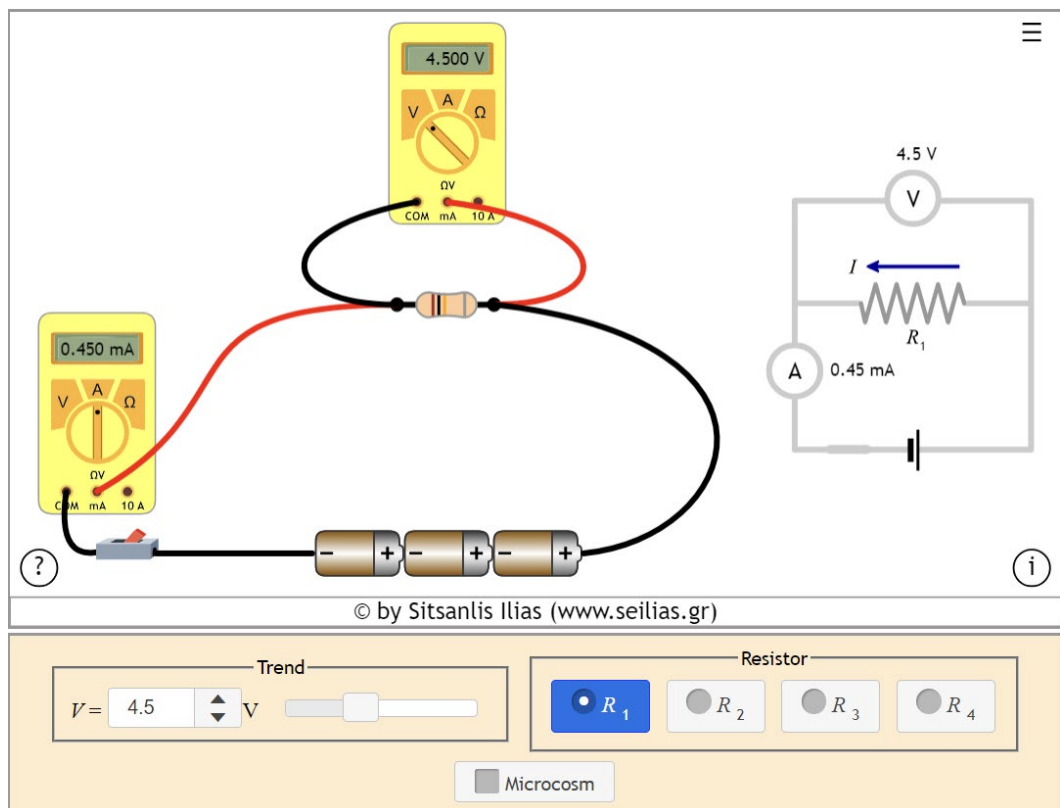


Рис 3.3. Онлайн симуляція Seilias.gr «Resistor Resistance Measurement - Ohm's Law»

Дія магнітного поля на струм.

Якщо помістити прямий провідник між полюсами постійного магніту та пропустити через нього струм, провідник почне відхилятися від свого початкового положення. Рух провідника пояснюється взаємодією двох полів: магнітного поля, створеного струмом, і поля постійного магніту. За допомогою моделювання на веб-сайтах, таких як Seilias.rg (рис. 3.4.), vascak.cz (рис. 3.5.) або Walter Fendt (рис. 3.6.), ми можемо вивчити силу Лапласа та рівновагу провідника, коли він перебуває в однорідному магнітному полі і полі сили тяжіння. Ми можемо регулювати інтенсивність магнітного поля, силу струму джерела та довжину провідника всередині магнітного поля.

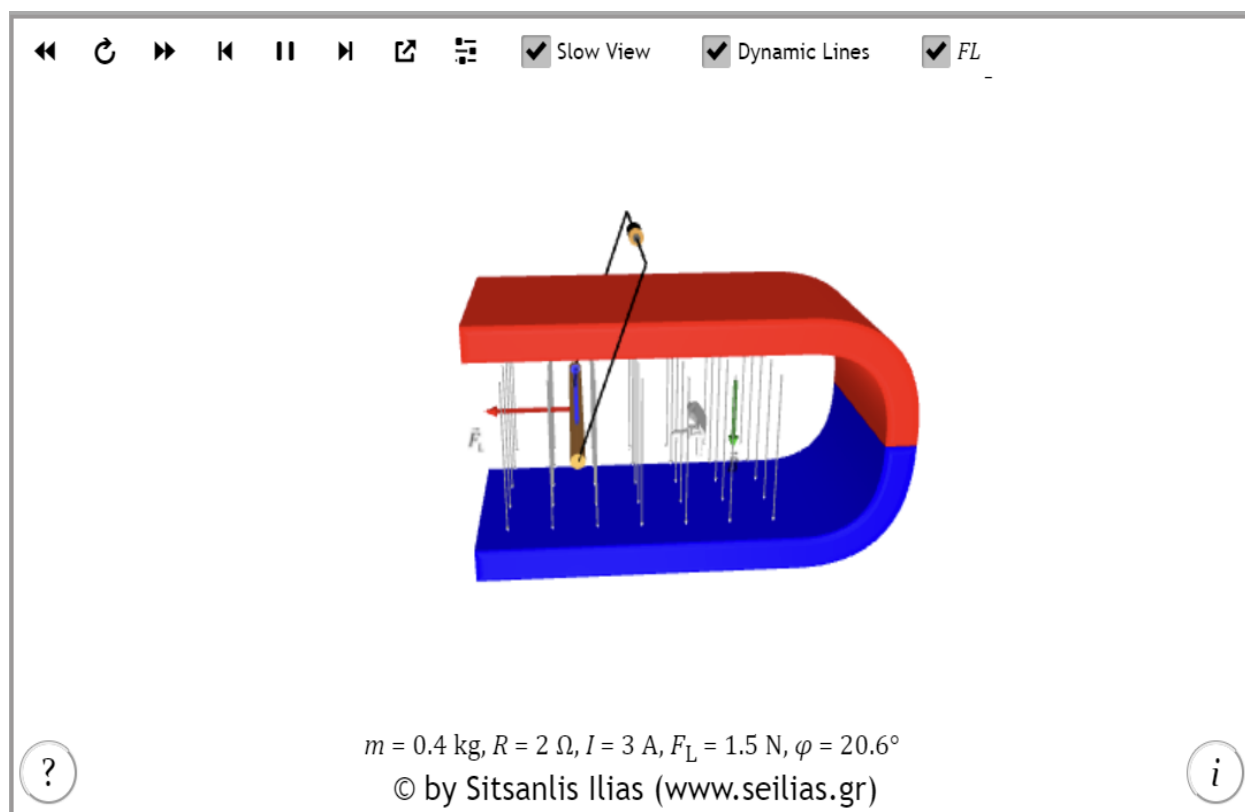


Рис. 3.4. Онлайн симуляція seilias.gr «Laplace Binary & Equilibrium – HTML5»

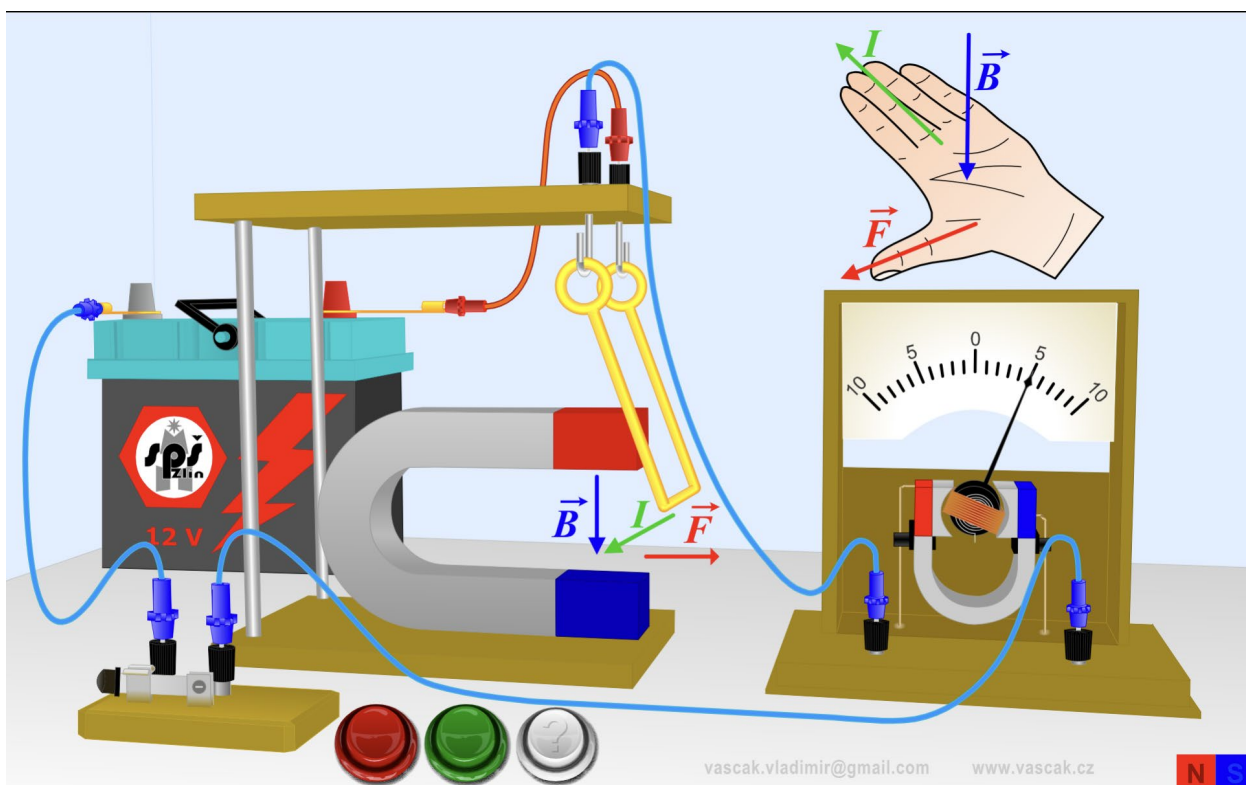


Рис. 3.5. Онлайн симуляція Vascak.cz «Правило лівої руки»

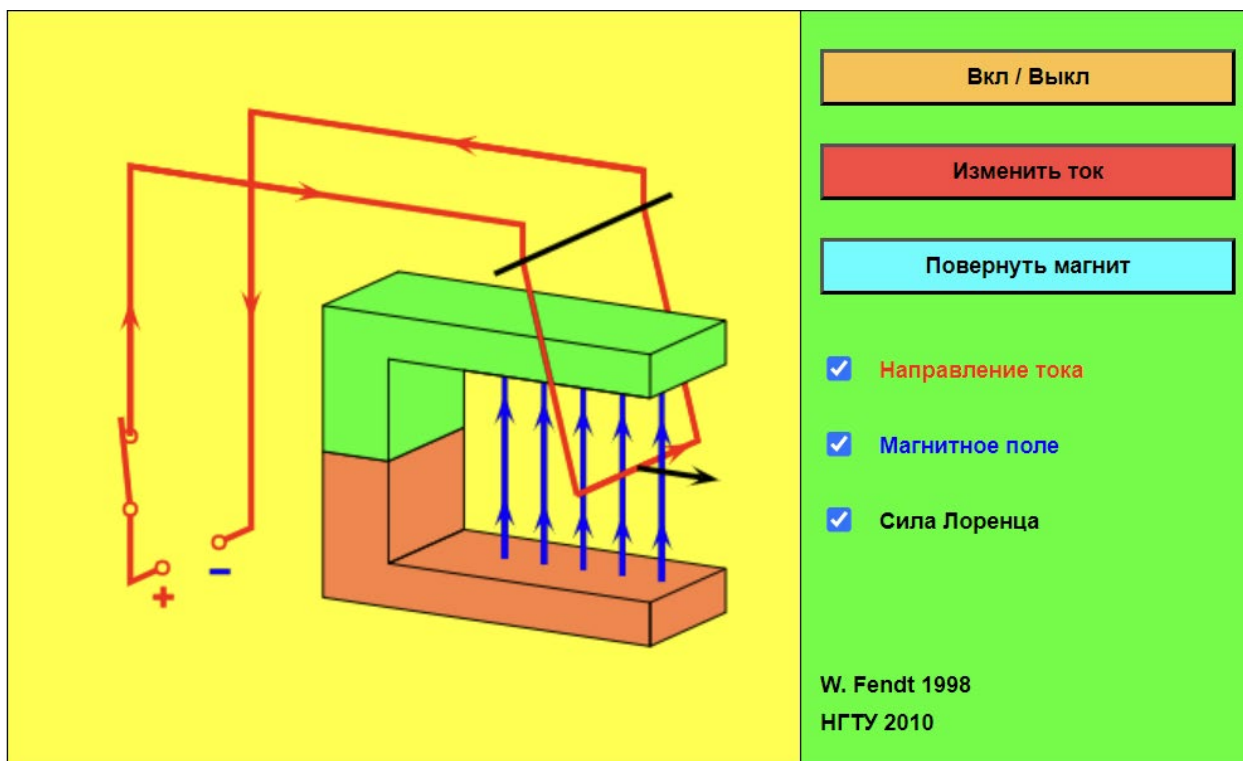


Рис. 3.6. Онлайн симуляція Walter Fendt «Сила Лоренца»

Взаємодія котушок зі струмом.

За допомогою цього конкретного моделювання у seilias.gr (Рис. 3.7) ми можемо досліджувати магнітне поле соленоїда. У нас є можливість змінювати силу електричного струму, кількість котушок і довжину соленоїда.

Вибравши «Залізні нитки», ми маємо можливість «побачити» магнітне поле, створене соленоїдом. Якщо ми збільшимо кількість стружки, ми отримаємо краще зображення, але ми втрачаємо швидкість відображення. У більшості випадків 5000 є цілком задовільною. Залежно від пам'яті та потужності вашого комп'ютера час відгуку може стати непомірно високим, якщо число перевищить 5000. Розрахунки зроблені за допомоги закону Био Саварта і частково залежать від поділу кривої на багато маленьких часток.

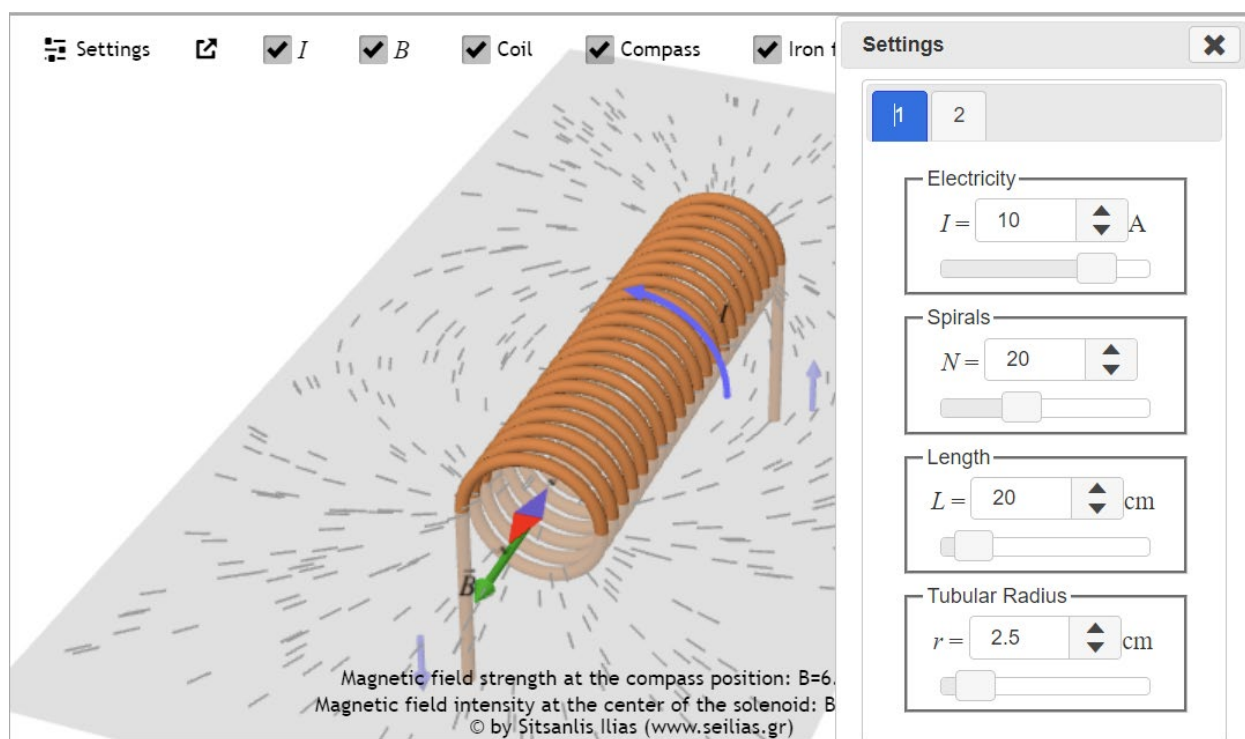


Рис. 3.7. Онлайн симуляція Seilias.gr «Tubular Magnetic Field - HTML5»

Електромагнітна індукція, правило Ленца.

За допомогою цієї конкретної симуляції ми можемо вивчати закон Фарадея. Ми маємо можливість перетягувати курсор у нижній частині екрана і таким чином

змінювати положення магніту вручну. Ми можемо змінити швидкість, прискорення та силу магніту в меню налаштувань. Для кільця ми можемо встановити його початкове положення.

За допомогою опції «Графік» ми можемо отримати графік потоку (червона крива) та ЕРС індукції (синя крива). Для порівняння випадків ми можемо натиснути кнопку камери, щоб зробити копію діаграм.

На рисунку 3.8 показано наближення магніту до провідного кільця.

У міру наближення магніту магнітний потік кільця збільшується. Із закону Фарадея випливає, що оскільки потік змінюється від поверхні кільця, у кільці виникає ЕРС, пропорційна швидкості зміни потоку. Оскільки кільце є замкнутим ланцюгом, воно матиме витік струму.

Одним із способів визначення напрямку індукційного струму є правило Ленца. Відповідно до якого напрямок індукційного струму буде таким, що він реагує на причини, що викликають зміну потоку. Реакція відбувається шляхом дії сили F_1 , протилежної напрямку руху магніту. Щоб мати таку силу, індукований струм повинен бути таким, щоб кільце було еквівалентним магніту, північний полюс якого звернений до північного полюса магніту.

Коли магніт виходить із соленоїда, магнітний потік зменшується, і індукційний струм матиме такий напрямок, що він намагатиметься реагувати на це зменшення потоку. Отже, соленоїд діятиме як магніт, який притягуватиме основний магніт. Щоб це сталося, північний полюс соленоїда повинен бути протилежним південному магніту, так що два магніти відштовхуються один від одного.

Правило правої руки змушує струм бути таким, як показано на малюнку, тому індукований магніт матиме наведену вище орієнтацію.

Кільце під дією сили F_2 почне рухатися в напрямку дії сили.

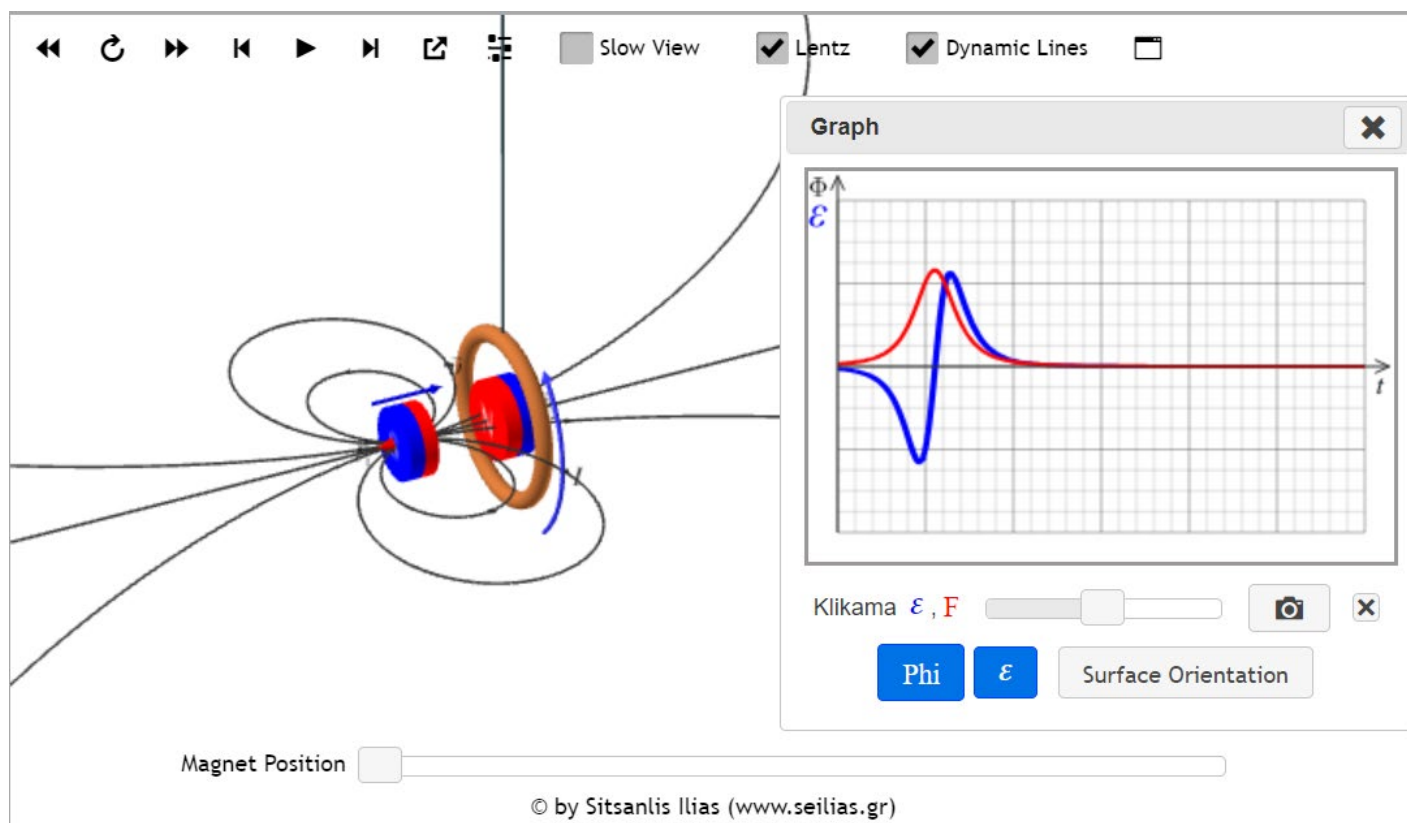


Рис. 3.8. Онлайн симуляція Seilias.gr «Faraday's Law - Lenz's Rule (Ring) - HTML5»

Явище самоіндукції.

За допомогою симуляції seilias.gr «Faraday's Law - Lenz's Law (Mutual Induction)» ми можемо вивчати закон Фарадея та явище самоіндукції. Ми можемо змінювати опір другого контуру, перетягуючи повзунок. Загальний опір другого кола змінюється від 10 Ом до 60 Ом. Перемикач має два положення, і ми переходимо з одного положення в інше, натискаючи на нього. Можемо вважати вплив першої котушки (ланцюга гальванометра) на другу (ланцюг джерела) незначним. Якщо ми позначили опцію «Lentz», тоді відображається додаткова інформація про схему.

Як тільки ми замкнемо перемикач, струм і напруженість магнітного поля в первинній (правій) котушці матимуть напрям фігури. Це призведе до збільшення потоку у вторинній (лівій) котушці.

Індукційний струм у вторинній котушці буде таким, що зменшує потік. Для цього магнітне поле, викликане індукційним струмом, повинно мати протилежний напрямок, а для цього індукційний струм повинен мати напрямок, позначений на малюнку.

Коли струм у первинній котушці стабілізується, у вторинній котушці не буде проходити струм.

Як тільки ми перемістимо перемикач і розімкнемо контур, потік у вторинному контурі зменшиться. Індукційний струм буде спрямований таким чином, щоб збільшити потік і створити індукційне магнітне поле в тому ж напрямку. Отже, індукційний струм матиме напрямок, показаний на малюнку 3.9.

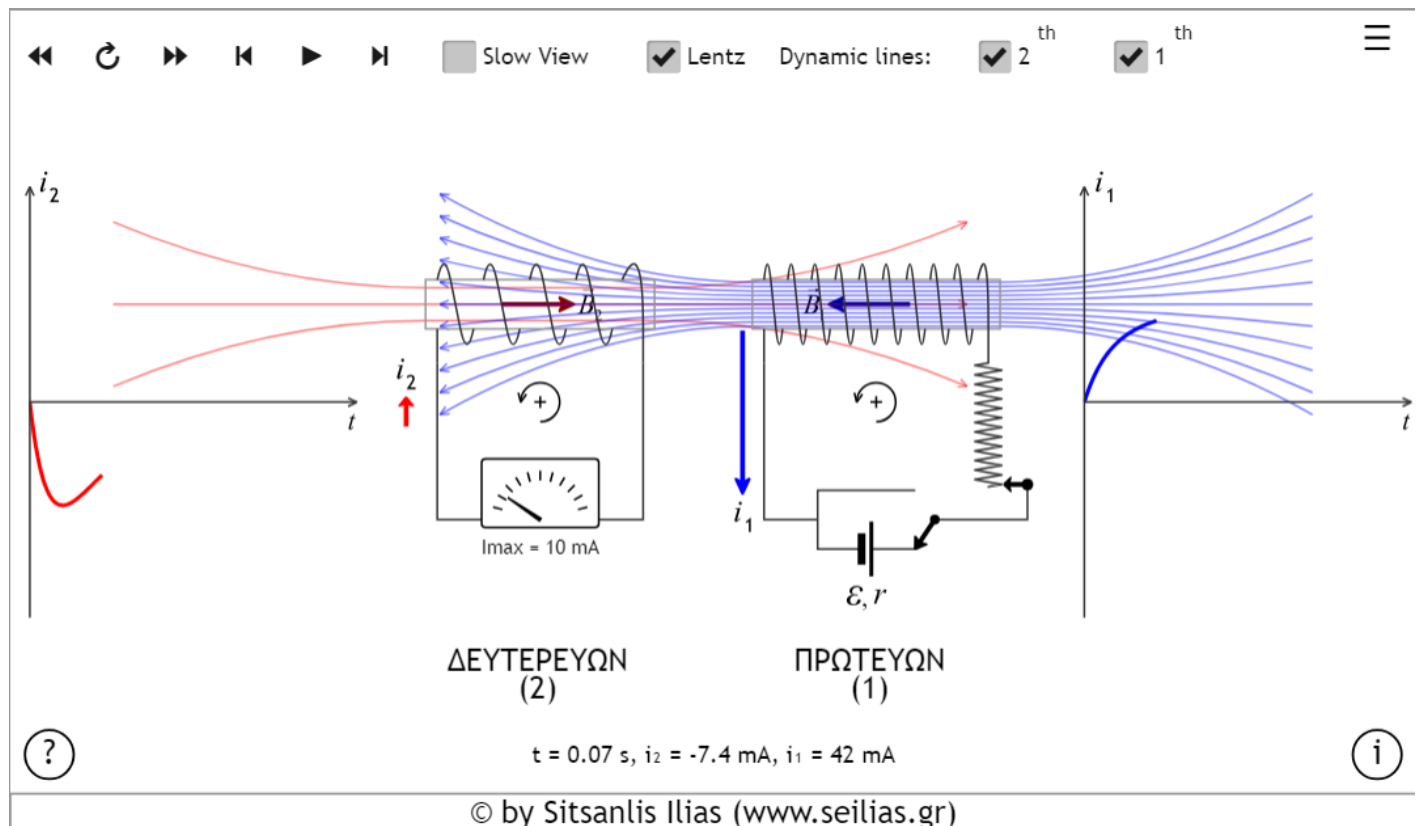


Рис. 3.9. seilias.gr «Faraday's Law - Lenz's Law (Mutual Induction)»

Вихрові струми виникають внаслідок впливу змінного електромагнітного поля i , з фізичної точки зору, ідентичні індукційним струмам, що генеруються у прямих дротах. Вони мають вихрову структуру, що утворює кільця. Електричний опір ефективного провідника є невеликим, що робить струми Фуко надзвичайно потужними. Згідно з

правилом Ленца вони обирають внутрішній напрям і шлях вздовж провідника, спрямований так, щоб опиратися причині їхнього виникнення. Таким чином, провідники, що пересуваються в сильному магнітному полі, відчувають істотне гальмування, яке визначається взаємодією вихрових струмів із магнітним полем. Ця характеристика використовується в рухомих детекторах, сейсмографах та інших пристроях.

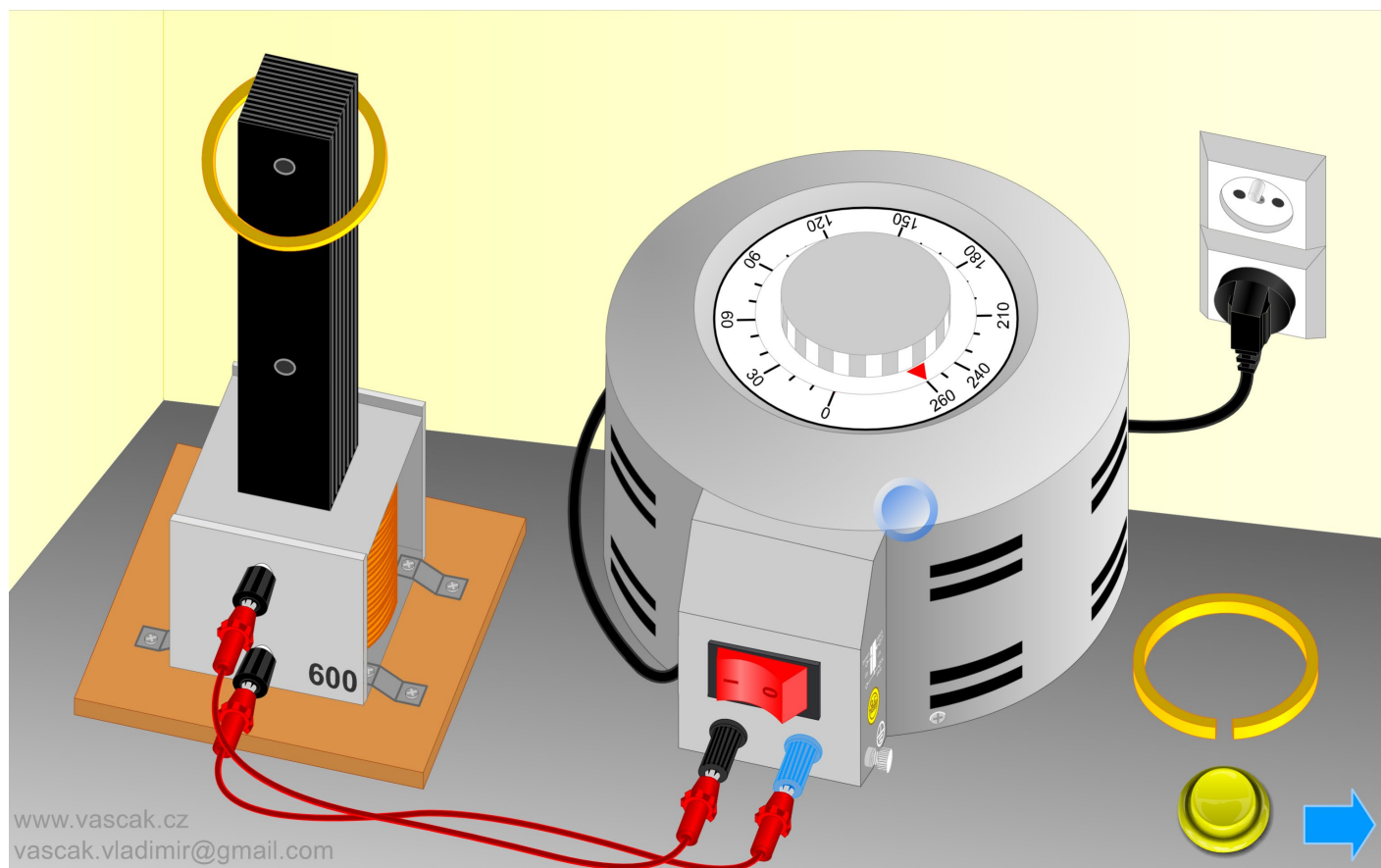


Рис. 3.10. Онлайн симуляція Vascak.cz «Правило Ленца»

3.2. Приклади інструкцій до проведення демонстрацій

1. Сформулюйте конкретні навчальні мети, які будуть вимірюваними. Важливо, щоб ці цілі були чітко визначені відповідно до стандартів і програм, оскільки кожна симуляція призначена для підтримки декількох можливих навчальних цілей.

2. Надавайте лише мінімальні вказівки та загальні напрямки щодо використання симуляції. Сіми спроектовані та протестовані з метою заохочення учнів та студентів до проведення досліджень та формулювання власних висновків. Готовий алгоритм може обмежити активне мислення, змушуючи учнів виконувати інструкції і правильно відповідати на питання.

3. Залучайте попередні знання, досвід та розуміння учнів для отримання та конструювання нових. Ставте запитання для виявлення ідей учнів на тему, наприклад, починаючи використовувати симуляцію щодо розчинів: "Якщо ви додаєте багато солі до води, що може статися?" та "Чому важливо, яке саме тверде тіло ви додаєте в воду?" Спонукайте учнів та студентів використовувати моделювання та обговорення з партнером для перевірки цих ідей та вирішення будь-яких невідповідностей.

4. Спонукайте учнів до виявлення причинно-наслідкових зв'язків та значущих висновків. Симуляції розроблені для допомоги учням та студентам розвивати і самостійно оцінювати своє розуміння наукових тем, заохочуючи їх працювати в режимі навчання, а не лише представляти результати. Підкресліть питання, які вимагають розуміння теми моделювання та ідей, використовуючи слова та діаграми, а не обмежуйте їх правильними або неправильними відповідями.

5. Поєднуйте знання учнів з реаліями їхнього повсякденного життя та заохочуйте до виявлення сенсу навчання. Учні краще вчаться, коли можуть застосовувати науку у своєму повсякденному житті. Симуляції часто використовують приклади з повсякденного життя, але важливо, щоб діяльність явно допомагала їм зв'язувати науку з їхнім власним досвідом.

6. Створюйте діяльність, яка передбачає та сприяє співпраці учнів. Симуляції розраховані на використання спільної мови та досвіду учнів, допомагаючи їм разом будувати розуміння теми. Запрошуйте учнів працювати в парах або групах, ділитися ідеями та разом розвивати власне розуміння.

7. Допомагайте учням відслідковувати свій власний прогрес у навчанні та розумінні, надаючи їм можливість самостійно перевірити своє розуміння, наприклад, шляхом передбачення результатів на основі їхніх нових знань та подальшої перевірки за допомогою симуляцій.

ВИСНОВКИ

На основі обговореного можна зробити висновок, що онлайн-демонстрації, або інтерактивні комп'ютерні моделі, є потужним інструментом для навчання фізики. Онлайн-демонстрації можуть допомагати учням зрозуміти складні концепції, вивчати фізичні явища та закономірності через взаємодію з віртуальними експериментами, які неможливо відтворити у класі з багатьох причин:

- Відсутність деяких приладів та обладнання, їх висока вартість.
- Шкідливий вплив деяких явищ на організм людини.
- Досить великі параметри системи (тиск, температура, швидкість).
- Надзвичайно швидкий, або повільний перебіг процесів.

Усіх цих недоліків віртуальна лабораторія не має.

Вдосконалення процесу вивчення фізики, зокрема використання онлайн-демонстрацій, виявляється особливо корисним у навчанні наукових концепцій та законів. У висвітленому дослідженні проводилися різні типи інструктування під час використання інтерактивних моделей. Один із підходів, описаний в роботі, полягає в наданні учням лише ключових запитань, що стимулюють їх до аналізу та висловлення своїх гіпотез. Такий метод сприяє активній участі учнів, заохочуючи їхню самостійність у дослідженні та формулюванні власних питань.

Важливо зазначити, що учні в таких умовах розвивають навички самостійного навчання та вміння ставити свої запитання, що сприяє глибшому засвоєнню матеріалу. Використання онлайн-демонстрацій, які заохочують учнів власноруч вивчати явища та процеси, мають позитивний вплив на їхню академічну успішність і розвиток критичного мислення.

Загалом, онлайн-демонстрації є не лише засобом візуалізації концепцій, але й інструментом для стимулювання аналітичного та дослідницького підходу учнів до вивчення фізики.

В роботі також було наведено приклади онлайн симуляцій, описані їх переваги та недоліки при застосуванні у демонстраційному експерименті з фізики.

Також були розроблені інструкції по їх ефективному застосуванню.

Онлайн-демонстрації можуть бути ефективним інструментом, якщо вони використовуються відповідним чином, з урахуванням навчальних цілей, потреб учнів та використання відповідного типу супроводу. При цьому важливо забезпечити, щоб учні не обмежувалися лише відповідями на конкретні питання, але розвивали свої аналітичні та дослідницькі навички.

Усе це дозволить зробити шкільні уроки фізики цікавими, сучасними, різноманітними та ефективними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Величко С. П. Підготовка сучасного вчителя до ефективного викладання ШКФ в умовах комп'ютерного навчання / С.П. Величко // Зб. наук. праць. Наукові записки. – Вип. 54. – Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ. – 2004. – 220 с., С. 190 - 192.
2. Войтович І.С. Підготовка майбутніх учителів фізики до використання прикладного програмного забезпечення загального призначення / І.С. Войтович // Зб. наук. праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна – Кам'янець-Подільський: Кам'янецьПодільський національний університет імені Івана Огієнка, 2009. Випуск 15: Управління якістю підготовки майбутніх учителів фізики та трудового навчання. – С. 264 – 267.
3. Головки, М. В., Крижановський, С. Ю., & Мацюк, В. М. (2015). Моделювання віртуального фізичного експерименту для систем дистанційного навчання в загальноосвітній і вищій педагогічній школах. Інформаційні технології і засоби навчання, 47 (3), 36-48.
4. Дон Н.Л., Савченко С.О. До питання впровадження інформаційних технологій в лабораторному практикумі з електроніки. Вісник ХНТУ, ХНТУ: Харків. № 1(64), 2018. С. 194-198.
5. Жалдак М.І. Комп'ютер на уроках фізики: [посібник для вчителів] / М.І. Жалдак, Ю.К. Набочук, І.Л. Семещук. – Рівне, «ТЕНІС», 2004. – 230 с.
6. Засекіна Т. М. 3-36 Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтєва В. М.) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2019. — 304 с. : іл.
7. Зінченко Ю. П., Меньшикова Г. Я. Технології віртуальної реальності: методологічні аспекти, досягнення і перспективи. Національний психологічний журнал. 2010. № 1 (3). С. 54–62.

8. Іваницький, О. І. (2018). Формування фахових компетентностей майбутніх учителів фізики в процесі самостійної роботи. Вісник Запорізького університету, 1 (30), 107-113.
9. Ляшенко Ю.О., Дідук В.А. та ін. Розробка та методика застосування автоматизованого апаратно-програмного комплексу для проведення лабораторних робіт з фізики. Вісник Черкаського університету. 2016. № 17. С. 102-109.
10. Подласов, С. О. & Матвійчук, О. В. (2023). Особливості проведення лабораторних робіт з фізики в технічному університеті під час дистанційного навчання. ITLT, 93 (1), 152–162.
11. Пучков, Ігор. «Use of Virtual Physical Laboratory when Teaching Physics in DonNACEA». E-learning technology 4, вип. 0 (04, Грудень 2020): 51–55. <https://doi.org/10.31865/2709-840002020222548>.
12. С. И. Лапта, В. Н. Сергеев, П. Л. Токарев та ін. Виртуальные лаборатории для обучения физике / // Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – 2017. – Вип. 2. – С. 92–98.
13. Сальник, І. В. (2014) Проблеми використання електронних засобів навчального призначення в системі шкільного фізичного експерименту. Психолого-педагогічні проблеми сільської школи, (48), 138-143. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppps_2014_48_23.
14. Тадеуш О. Х. 1. Використання віртуальної лабораторії як засобу формування ключових компетенцій майбутніх вчителів фізики / О. Х. Тадеуш, Д. В. Ємельянова, Є. Г. Борсук // MODERN DIRECTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT / О. Х. Тадеуш, Д. В. Ємельянова, Є. Г. Борсук. – Chicago, USA: BoScience Publisher, 2021. – С. 275–283.
15. Федчишин, О., Мохун, С., & Чопик, П. (2022). Методичні основи використання РНЕТ-симуляцій у процесі вивчення фізики. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка, 1(1), 16–24. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.22.1.2>

- 16.Цодікова Н.О. Система навчальних дисциплін, спрямованих на підготовку майбутнього вчителя фізики до використання інформаційних технологій у професійній діяльності / Н.О. Цодікова // Зб. наук. праць. Наукові записки. – Вип. 90. – Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. 283 Винниченка. – 2010. – 350 с., С. 311 - 315.
- 17.Чорнобай К.Г. Використання інформаційно-комунікаційних технологій на практичних заняттях з методики викладання фізики / К. Г. Чорнобай // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. – Серія: Педагогічні науки. – Чернігів: ЧНПУ, 2013. – Вип. 109. – С. 277-280.
- 18.Шарко, В. Д. (2013). Підготовка вчителя до розвитку пізнавальної активності учнів засобами віртуального фізичного експерименту як методична проблема. Інформаційні технології в освіті. (14), 34–41.
- 19.Юрченко А.О., Хворостіна Ю.В. Віртуальна лабораторія як складова сучасного експерименту. Науковий вісник Ужгородського університету. серія: «Педагогіка. Соціальна робота». 2016, № 2 (39). С. 281-283.
- 20.Модернізація освіти в Україні. Аналітичний огляд результатів всеукраїнського опитування керівників загальноосвітніх навчальних закладів у 2004 р. К.:»К.І.С.«, 2004.-32с.
- 21.Apps on Physics [Electronic resource]. – Assed mode: <https://www.walterfendt.de/html5/phen/>.
- 22.Hamed, G., & Aljanazrah, A. (2020). The effectiveness of using virtual experiments on students' learning in the general physics lab. Journal of Information Technology Education: Research, (19). 977 – 996.
- 23.Interactive Simulations for Science and Math [Electronic resource]. – Assed mode: <https://phet.colorado.edu/>.
- 24.Ma, J. & Nickerson, J. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review”, ACM Computing Surveys, 38 (3). <https://doi.org/10.1145/1132960.1132961>.

- 25.Slipukhina, I., Kuzmenkov, S., Kurilenko, N., & Sundenko, S. (2019). Virtual educational physics experiment as a means of formation of the scientific worldview of the pupils: ICT in Education, Research, and Industrial Applications. Proc. 15 th Int. Conf. ICTERI. Volume I: Main Conference. Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019.