

К.Ж. Шетиева^{1*}, А.Н. Салыкова^{1*}, А. Есейқызы¹, У.Э. Мамбетакунов²

¹Жетысуский университет имени И.Жансугурова, г.Талдыкорган, Казахстан

²Бишкекский музыкально-педагогический институт имени Т. Эрматова,
г.Бишкек, Кыргызстан

*e-mail: karlygash.shetiyeval@gmail.com

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СИМУЛЯТОРОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ

Аннотация

В статье представлен системный анализ симуляторов дополненной реальности, применяемых для визуализации физических законов и явлений в процессе обучения физике. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения наглядности и доступности абстрактных физических понятий при изучении механики, оптики, молекулярной физики, электричества и магнетизма. Цель исследования заключается в сравнительном анализе образовательных возможностей современных AR-приложений и определении их педагогического потенциала. Методологическую основу исследования составили методы системного, функционального и сравнительного анализа семи AR-приложений: MARVLS AR Physics 1 Mechanics, Merge Explorer, ARLOOPA, ARPhysycs2, AR.X Optics, ObjectViewer и Merpi AR Lab. Оценка проводилась по критериям визуализации, интерактивности, физической корректности моделей и дидактической эффективности. Результаты исследования показали, что наибольший образовательный эффект достигается при сочетании интерактивного взаимодействия, параметрического управления моделями и физически корректной визуализации процессов. Наиболее высокие показатели педагогического потенциала продемонстрировали приложения AR.X Optics, Merge Explorer и ARPhysycs2. Научная новизна исследования заключается в применении единой системы критериев для комплексного сравнительного анализа AR-симуляторов, используемых в обучении физике. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при выборе и интеграции AR-технологий в образовательный процесс по физике.

Ключевые слова: дополненная реальность, визуализация физических процессов, обучение физике, цифровые образовательные технологии, интерактивное обучение, иммерсивные технологии.

Қ.Ж.Шетиева¹, А.Н.Салықова¹, А.Есейқызы¹, У.Э. Мамбетакунов²

¹І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан

²Т. Ерматов атындағы Бішкек музыкалық-педагогикалық институты, Бішкек қ., Қырғызстан

ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДАҒЫ КЕҢЕЙТІЛГЕН ШЫНДЫҚ СИМУЛЯТОРЛАРЫНЫҢ ЖҮЙЕЛІК ТАЛДАУЫ

Аңдатпа

Мақалада физиканы оқыту процесінде физикалық заңдар мен құбылыстарды визуализациялауға арналған толықтырылған шындық симуляторларына жүйелі талдау ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі механика, оптика, молекулалық физика, электр және магнетизм бөлімдерін оқыту барысында абстрактілі физикалық ұғымдардың көрнекілігі мен қолжетімділігін арттыру қажеттілігімен негізделеді. Зерттеудің мақсаты – заманауи AR-қосымшалардың білім беру мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау жүргізу және олардың педагогикалық әлеуетін анықтау. Зерттеудің әдіснамалық негізін MARVLS AR Physics 1 Mechanics, Merge Explorer, ARLOOPA, ARPhysycs2, AR.X Optics, ObjectViewer және Merpi AR Lab сияқты жеті AR-қосымшаны жүйелік, функционалдық және салыстырмалы талдау әдістері құрады. Бағалау визуализация деңгейі, интерактивтілік, модельдердің физикалық дұрыстығы және дидактикалық тиімділігі критерийлері бойынша жүргізілді. Зерттеу нәтижелері өзара интерактивті әрекеттесу, модель параметрлерін басқару және физикалық процестердің ғылыми тұрғыдан дұрыс визуализациясы үйлескен жағдайда білім беру тиімділігі

жоғары болатынын көрсетті. Педагогикалық әлеуеті ең жоғары қосымшалар ретінде AR.X Optics, Merge Explorer және ARPhysycs2 анықталды. Зерттеудің ғылыми жаңалығы физиканы оқытуда қолданылатын толықтырылған шындық (AR) симуляторларын кешенді салыстырмалы талдауға арналған бірыңғай бағалау критерийлері жүйесін қолдануымен сипатталады. Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған нәтижелерді физиканы оқыту процесінде AR-технологияларды таңдау және енгізу барысында қолдану мүмкіндігімен айқындалады.

Түйін сөздер: толықтырылған шындық, физикалық процестерді визуализациялау, физиканы оқыту, цифрлық білім беру технологиялары, интерактивті оқыту, иммерсивті технологиялар.

K.Shetiyeva¹, A.Salykova¹, A.Yesseikyzy¹, U.E. Mambetakunov²

¹Zhetysu University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

²T. Ermatov Bishkek Music and Pedagogical Institute, Bishkek, Kyrgyzstan

SYSTEM ANALYSIS OF AUGMENTED REALITY SIMULATORS IN PHYSICS TEACHING

Abstract

This article presents a systems analysis of augmented reality simulators used to visualize physical laws and phenomena in physics education. The relevance of this study stems from the need to improve the clarity and accessibility of abstract physical concepts in the study of mechanics, optics, molecular physics, electricity, and magnetism. The aim of the research is to conduct a comparative analysis of the educational capabilities of modern AR applications and to determine their pedagogical potential. The methodological framework of the study is based on the methods of systematic, functional, and comparative analysis applied to seven AR applications: MARVLS AR Physics 1 Mechanics, Merge Explorer, ARLOOPA, ARPhysycs2, AR.X Optics, ObjectViewer, and Merpi AR Lab. The evaluation was carried out according to the criteria of visualization quality, interactivity, physical accuracy of models, and didactic effectiveness. The results of the study demonstrated that the greatest educational effect is achieved through the integration of interactive engagement, parametric control of models, and physically accurate visualization of processes. The applications AR.X Optics, Merge Explorer, and ARPhysycs2 showed the highest indicators of pedagogical potential. The scientific novelty of this study lies in the application of a unified system of evaluation criteria for the comprehensive comparative analysis of augmented reality (AR) simulators used in physics education. The practical significance of the research lies in the possibility of applying the obtained results in the selection and integration of AR technologies into the educational process of physics teaching.

Keywords: augmented reality, visualization of physical processes, physics education, digital educational technologies, interactive learning, immersive technologies.

Введение

Основные положения

В данном исследовании был проведен сравнительный анализ семи симуляторов дополненной реальности, используемых в преподавании физики. Результаты показывают, что эффективность технологий дополненной реальности определяется не только качеством визуализации, но и уровнем интерактивности, физической корректностью моделей и возможностью параметрического управления. По набору критериев наибольший педагогический потенциал продемонстрировали приложения AR.X Optics, Merge Explorer и ARPhysycs2. Результаты исследования показывают, что использование технологий дополненной реальности снижает когнитивную нагрузку и способствует формированию причинно-следственного понимания физических процессов.

Кроме того, AR-решений имеют ограничения, такие как, фрагментированность контента, ограниченность количественного анализа, зависимость от технических характеристик устройств. Цифровые и иммерсивные технологии все чаще используются в научной и образовательной среде, меняя привычные подходы к передаче знаний. Для физики, значительная часть которой основана на абстрактных моделях, математических уравнениях и ненаблюдаемых процессах, такие изменения приобретают особое значение. Традиционные средства наглядности – печатные иллюстрации, двухмерные графики и лабораторные

демонстрации, в некоторой степени недостаточны для целостного и интуитивного восприятия процессов.

В последние годы внимание исследователей привлекают технологии дополненной реальности (AR) – разновидность иммерсивных технологий, которые в реальном времени накладывают виртуальные объекты и динамические модели на физическую среду. В отличие от виртуальной реальности, дополненная реальность сохраняет визуальный и пространственный контекст реального мира. Это особенность делает ее перспективной для визуализации физических законов и явлений, происходящих в реальном пространстве и времени.

AR (Augmented Reality) – это среда, в которой физические и виртуальные объекты объединяются в реальном времени. Эта технология позволяет взаимодействовать с представленными данными и воспринимать их визуально [1].

Дополненная реальность представляет собой преобразующую парадигму для образовательного и профессионального контекстов, накладывая виртуальные 3D-элементы на реальную среду, что позволяет осуществлять иммерсивную визуализацию и взаимодействие со сложными явлениями [2].

Технологии дополненной реальности широко применяются не только в бизнесе, но и в образовании и различных областях науки. В условиях стремительного роста интереса к инновационным решениям в образовании дополненная реальность занимает ведущие позиции в образовательной среде. Применение дополненной реальности в лабораторных работах по физике может сделать эксперименты более эффективными с точки зрения понимания с помощью визуализации, а также позволяет повысить их результативность, способствуя более глубокому пониманию изучаемых процессов [3].

Дополненная реальность (AR) – это область технологий, которая предполагает плавное наложение созданных компьютером виртуальных изображений на реальный мир таким образом, чтобы виртуальный контент соответствовал объектам реального мира, и с ним можно было просматривать и взаимодействовать в режиме реального времени [4].

Использование AR-средств в физике позволяет визуализировать такие трудно наблюдаемые объекты и процессы, как силовые и векторные поля, молекулярное движение, волновые процессы, электромагнитные взаимодействия, оптические явления и атомные структуры. За счёт интерактивности и пространственной наглядности AR-симуляторы способствуют формированию причинно-следственных связей между математическим описанием физических законов и их физическим смыслом, снижая когнитивную нагрузку и повышая уровень вовлеченности обучающихся.

Применяя системы визуализации в промышленной сфере, образовании и научных исследованиях, можно обеспечить наглядное представление данных, что в свою очередь повышает эффективность анализа и принятия решений. Эти системы позволяют представлять сложные рабочие процессы и данные в интуитивно понятной форме, способствуя лучшему пониманию, анализу и передаче информации [2]. В работе Liru Chen и др. исследуется потенциал систем визуализации дополненной реальности (AR), которые улучшают мультимодальное восприятие и взаимодействие для принятия сложных решений. Предлагаемая система сочетает в себе физичность и интуитивность реального мира с иммерсивными и интерактивными возможностями AR-систем. Полученные результаты призваны помочь разработчикам систем визуализации, исследователям и практикам в изучении и использовании возможностей этого комплексного подхода, что в конечном итоге приведет к более увлекательному и захватывающему взаимодействию пользователей в различных областях применения [5].

Использование дополненной реальности (AR) позволяет интегрировать цифровую информацию в наше восприятие физического мира. A.Vidak в своей работе представляет всесторонний обзор ранее опубликованной литературы по внедрению AR в образование по физике на школьном и университетском уровнях. Обзор включает анализ 96 статей из баз

данных Scopus и Eric, все из которых были опубликованы в период с 1 января 2012 года по 1 января 2023 года. Оценивается, как дополненная реальность используется для облегчения изучения физики. Были обобщены потенциальные учебные мероприятия на основе дополненной реальности по различным темам физики, а также описаны возможности и проблемы, связанные с изучением физики на основе дополненной реальности. Было показано, что технологии дополненной реальности могут облегчить изучение физики, предоставляя дополнительные визуализации, оптимизируя когнитивную нагрузку, позволяя осуществлять тактильное обучение, сокращая время выполнения задач и способствуя совместному исследованию. Потенциальные недостатки использования дополненной реальности в преподавании физики в основном связаны с недостатками программных и аппаратных технологий (например, зависание камеры, задержка визуализации) и посторонняя когнитивная нагрузка (например, уделение большего внимания второстепенным деталям, чем формированию целевых знаний) [6].

Дополненная реальность (AR) - одна из технологий, которую можно интегрировать в процесс обучения. Благодаря технологическому прогрессу, внимание к дополненной реальности будет продолжать расти, к такому выводу пришли авторы Z.Zufahmi и др. в результате своих исследований в виде систематического обзора различных исследований, посвященных использованию дополненной реальности в научном обучении и положительному влиянию ее использования, которые были опубликованы в журналах, индексируемых Scopus. В этом обзоре использованы 44 статьи, опубликованные в журналах, индексируемых Scopus, за 2019-2023 годы. Результаты этого исследования показывают рост исследований в области дополненной реальности в области научного обучения. Исследования в области дополненной реальности в области научного обучения в основном проводятся с использованием квазиэкспериментального подхода [7].

Несмотря на большое количество исследований, посвященных использованию технологий дополненной реальности в образовании, основная часть работ посвящена изучению педагогической эффективности отдельных AR-приложений или описанию отдельных практик их внедрения. Однако в научной литературе отсутствуют исследования, направленные на всестороннее сравнение AR-симуляторов в соответствии с едиными критериями оценки. AR-симуляторы, применяемые для визуализации физических законов и явлений, остаются недостаточно систематизированными, по вопросам классификации, функционального сравнения и комплексной оценки. Отсутствие системного анализа затрудняет обоснованный выбор программных решений, а также разработку методических рекомендаций по их интеграции в учебный и исследовательский процесс.

Актуальность исследования определяется противоречием между активным распространением AR-приложений для обучения физике и отсутствием единых научно обоснованных критериев их сравнительной оценки. Несмотря на наличие исследований, посвящённых отдельным AR-средствам, недостаточно раскрыты вопросы систематизации, функционального сравнения и педагогической оценки AR-симуляторов по разделам физики. Это затрудняет выбор эффективных цифровых инструментов для учебного процесса и требует проведения комплексного анализа их образовательного потенциала.

В связи с этим возникает необходимость проведения системного анализа симуляторов дополненной реальности, используемых для визуализации физических законов и явлений, с учётом их технологических характеристик, охвата разделов физики, уровня интерактивности, степени соответствия физическим моделям и педагогического потенциала. Анализ позволяет выявить как сильные стороны существующих решений, так и их ограничения, также определить направления дальнейшего развития AR-технологий используемых в обучении физике и научной визуализации.

Исследования последних лет подтверждают положительное влияние технологий дополненной реальности на мотивацию обучающихся, развитие пространственного мышления, повышение наглядности и снижение когнитивной нагрузки при изучении

естественно-научных дисциплин [1–7]. Однако большинство существующих исследований сосредоточено преимущественно на отдельных приложениях или локальных педагогических экспериментах. Вопросы комплексного сравнительного анализа AR-симуляторов, их классификации и оценки педагогической эффективности остаются недостаточно изученными.

В связи с этим возникает необходимость системного анализа существующих AR-приложений, используемых для визуализации физических законов и явлений.

Цель данного исследования — провести систематический анализ симуляторов дополненной реальности, используемых в преподавании физики, и определить их функциональные, дидактические и технологические особенности.

Для достижения желаемого результата исследования решаются следующие задачи:

- анализ существующих симуляторов дополненной реальности;
- классификация приложений по разделам физики;
- определение уровня визуализации и интерактивности;
- оценка педагогического потенциала приложений дополненной реальности;
- выявление преимуществ и ограничений использования дополненной реальности в преподавании физики.

Гипотеза исследования: использование симуляций дополненной реальности способствует более эффективному усвоению физических закономерностей за счет повышения наглядности, интерактивности и вовлеченности учащихся.

Методология исследования

В последние годы стремительно развивается разработка мобильных приложений, использующих технологию дополненной реальности, открывая путь к разнообразным методам обучения. Эти технологии позволяют передавать сложные знания в понятной и наглядной форме. Использование таких приложений помогает учащимся лучше понимать физические явления, визуализировать их и даже, в некоторых случаях, экспериментировать с ними. Дополненная реальность широко используется на разных уровнях образования и оказывает положительное влияние на процесс обучения. Использование дополненной реальности в обучении может улучшить визуализацию, мотивацию, опыт обучения и вовлеченность учащихся в изучение естественных наук [7].

Использование приложений или инструментов дополненной реальности может улучшить успеваемость и мотивацию учащихся [8-11], облегчить процесс обучения [12], повысить интерес к урокам [13], расширить участие в обучении [14], улучшить пространственные навыки, способствовать совместному обучению, сделать процесс обучения более увлекательным и снизить когнитивную нагрузку [15-16].

Исследование проводилось в период с 2025 по 2026 год, проведен анализ мобильных приложений и цифровых образовательных платформ, использующие технологии дополненной реальности в обучении физики.

Выбор методов системного, функционального и сравнительного анализа обусловлен целью исследования. Системный анализ позволил рассмотреть AR-симуляторы как комплексные образовательные системы, включающие содержательный, технологический и дидактический компоненты. Функциональный анализ использовался для выявления возможностей приложений по визуализации физических процессов, уровню интерактивности и управлению параметрами моделей. Сравнительный анализ позволил сопоставить приложения по единым критериям и определить их педагогический потенциал.

Экспертная оценка проводилась группой специалистов в области преподавания физики и цифровых образовательных технологий. В экспертной оценке приняли участие 7 экспертов. В состав экспертной группы вошли преподаватели физики, имеющие опыт использования цифровых образовательных ресурсов в учебном процессе. Критериями отбора экспертов являлись наличие высшего педагогического образования, стаж преподавания физики не менее

пяти лет, опыт применения цифровых образовательных технологий и использования интерактивных средств обучения. Каждый эксперт независимо оценивал исследуемые AR-приложения по единым критериям, что обеспечило сопоставимость полученных результатов.

Для количественной оценки использовалась пятибалльная шкала Лайкерта, широко применяемая в педагогических исследованиях для экспертной оценки качественных характеристик образовательных ресурсов. Использование данной шкалы позволило перевести качественные показатели (визуализация, интерактивность, физическая корректность моделей и педагогический потенциал) в количественную форму и обеспечить возможность сравнительного анализа исследуемых приложений.

Каждый эксперт оценивал приложение по пяти критериям: визуализация, интерактивность, физическая корректность моделей, удобство интерфейса и педагогический потенциал. Оценка проводилась по пятибалльной шкале Лайкерта, где 1 балл означал низкий уровень выраженности критерия, а 5 баллов — высокий уровень. Итоговый балл по каждому критерию рассчитывался как среднее арифметическое экспертных оценок (1)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

где x_i — оценка отдельного эксперта, n — количество экспертов.

Достоверность процедуры оценки обеспечивалась использованием единых критериев для всех анализируемых приложений и многократной экспертной проверкой результатов анализа. Такой подход позволил повысить объективность сравнительной оценки AR-симуляторов и обеспечить воспроизводимость исследования.

В качестве теоретической базы использовались подходы систематических обзоров, предложенные В. Kitchenham и S. Charters.

Исследование включало три этапа:

- Планирование исследования;
- Проведение сравнительного анализа;
- Интерпретация и систематизация результатов.

На этапе отбора приложений были определены следующие критерии:

- ориентация приложения на обучение физике;
- наличие интерактивных AR-моделей;
- возможность использования в образовательном процессе;
- доступность приложения на мобильных платформах;
- распространенность в образовательной практике.

В процессе исследования было проанализировано более 20 мобильных приложений, представленных в Google Play, App Store и научных публикациях. После предварительного отбора для детального анализа были выбраны семь наиболее репрезентативных приложений:

MARVLS AR Physics 1 Mechanics;

Merge Explorer;

ARLOOPA;

ARPhysycs2;

AR.X Optics;

ObjectViewer;

Merpi AR Lab.

Технология дополненной реальности используется в разделах механики: кинематика (визуализация движения тел по криволинейным траекториям), динамика (демонстрация законов Ньютона, взаимосвязи силы, массы и ускорения), статика (моделирование простых механизмов), а также в вопросах импульса (неупругие столкновения) и механической работы (преобразование потенциальной и кинетической энергии).

Приложений, которые можно использовать в разделе механики - MARVLS AR Physics 1 Mechanics, Merge Explorer, ARLOOPA, ObjectViewer (рисунок 1) .

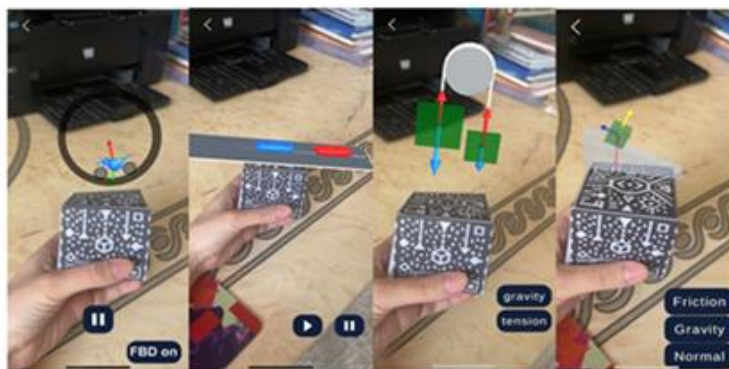


Рисунок 1. Трехмерные модели, относящиеся к главе механики в приложении MARVLS AR Physics 1 Mechanics

Раздел физики молекулярная физика и термодинамика охватывает представления о микроскопическом строении вещества, движении молекул и тепловых процессах. Поскольку явления, рассматриваемые в этом разделе физики, протекают в микромире и не видимы человеческому глазу, их невозможно напрямую наблюдать или продемонстрировать с помощью традиционных наглядных средств. Учащиеся получают теоретические знания о молекулярной структуре материи и движении молекул, но из-за отсутствия возможности увидеть эти процессы в реальности или наблюдать за ними экспериментально, они вынуждены воспринимать эти явления лишь на уровне воображения.

В такой ситуации использование технологий дополненной реальности является очень эффективным и удобным решением. С помощью дополненной реальности можно визуализировать трехмерные модели мельчайших частиц, которые невозможно увидеть или потрогать. При изучении этого раздела физики можно использовать приложения Merge Explorer и ARLOOPA (рисунок 2).

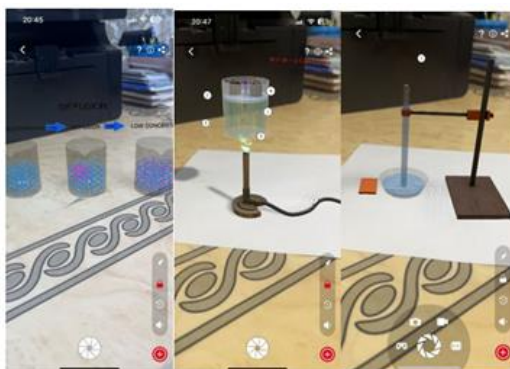


Рисунок 2. Симуляции используемые в разделах молекулярной физики и термодинамики приложения ARLOOPA

Раздел электричества и магнетизма относится к одному из важных и сложных разделов физики. В этом разделе рассматривается природа электрических явлений, возникновение электрического тока и его основные характеристики, такие как сила тока, напряжение, сопротивление, также такие важные понятия, как закон Ома. Кроме того, содержание раздела включает сложные явления, связанные с магнитным полем, силами Ампера и Лоренца, а также свойствами магнитного поля и его воздействием на другие частицы.

Приложения ARPhysycs2, Merge Explorer, ARLOOPA и Merpi AR Lab способствуют высококачественному обучению в области электричества и магнетизма (рисунок 3, 4).

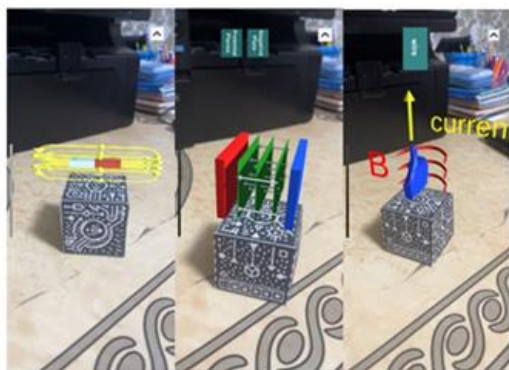


Рисунок 3. Интерфейс симуляций в приложении ARPhysycs2

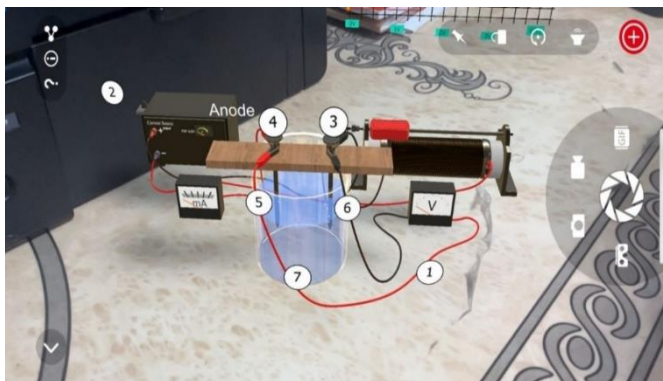


Рисунок 4. Отображение симуляции электролиза в приложении ARLOOPA

По сравнению с другими разделами физики, в оптике значительно больше приложений дополненной реальности, которые можно использовать в обучении. Такие приложения, как Merge Explorer, AR Physics 2, ARLOOPA, ObjectViewer, Assemblr EDU, Merpi AR Lab, а также специализированное приложение для оптики AR.Optics X, могут эффективно использоваться в преподавании оптики (рисунок 5).

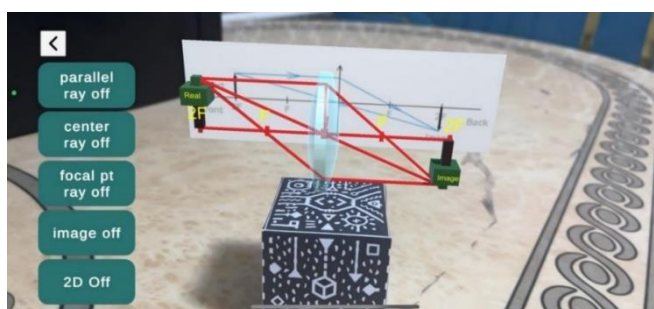


Рисунок 5. Представление симуляции «Ray Tracing» в приложении ARPhysycs2

Один из самых сложных разделов курса физики является раздел «Атом и атомное ядро». Этот раздел охватывает такие темы, как структура атома, свойства ядра, радиоактивность, ядерные реакции и их типы. Темы этого раздела наряду с теоретическим материалом требуют визуального представления. Использование визуальных и интерактивных инструментов обучения способствует повышению эффективности образовательного процесса. В этом контексте приложение ARLOOPA может стать эффективным вспомогательным средством обучения (рисунок 6).

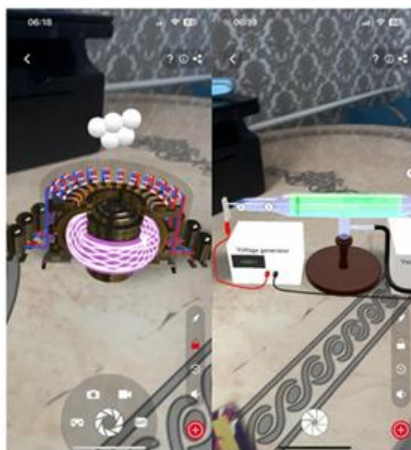


Рисунок 6. Приложение ARLOOPA

Для оценки приложений использовалась шкала Лайкерта от 1 до 5 баллов по следующим критериям:

- уровень визуализации физических процессов;
- интерактивность;
- физическая корректность моделей;
- удобство интерфейса;
- педагогический потенциал.

Провели контент-анализ приложений, который включал анализ тематического охвата разделов по физике, специфики взаимодействия пользователя с моделями, а также возможностей использования приложений в лабораторных и практических работах.

Результаты исследования

Результаты исследования показывают, что современные AR-приложения имеют большой потенциал для визуализации физических процессов и повышения эффективности обучения физике. Сравнительный анализ показал, что наивысший уровень визуализации демонстрируют приложения ARLOOPA (4,8 балла) и Merge Explorer (4,7 балла). Эти приложения дают хорошее трёхмерное представление физических процессов и охватывают широкий круг тем. Приложение AR.X Optics (4,8 балла) показал высокий уровень интерактивности. Он позволяет учащимся самостоятельно моделировать оптические эксперименты и изменять параметры взаимодействия с объектами. В разделе «Электричество и магнетизм» приложение ARPhysycs2 показало высокую физическую точность (4,7 балла), тем самым обеспечивая точное представление электрических и магнитных процессов. На основе этих параметров была проведена интегральная оценка каждого приложения (таблица 1).

Таблица 1. Оценка AR приложений

Приложение	Раздел физики	Визуализация	Интерактивность	Физическая корректность	Педагогический потенциал
MARVLS AR Physics	Механика	4,6	4,2	4,5	4,4
Merge Explorer	Механика, Молекулярная физика, Оптика, Электричество и магнетизм	4,7	4,5	4,3	4,6

ARLOOPA	Все разделы	4,8	4,1	4,2	4,5
ARPhysycs2	Электричество и магнетизм, Оптика	4,5	4,4	4,7	4,6
AR.X Optics	Оптика	4,6	4,8	4,6	4,8
ObjectViewer	Приборы	4,2	3,2	4,4	3,9
Merpi AR Lab	Электричество и магнетизм, оптика	4,0	3,5	4,1	3,9

Для повышения достоверности результатов были рассчитаны средние значения по каждому приложению и проведено ранжирование AR-симуляторов. Полученные данные показывают, что наиболее высокие интегральные показатели имеют AR.X Optics, ARPhysycs2 и Merge Explorer (таблица 2). Это связано с сочетанием высокой визуализации, интерактивности и физической корректности моделей.

Таблица 2. Ранжирование AR-симуляторов

Приложение	Средний балл	Ранг
AR.X Optics	4,70	1
Merge Explorer	4,53	2
ARPhysycs2	4,55	2
ARLOOPA	4,40	4
MARVLS AR Physics	4,43	4
ObjectViewer	3,93	6
Merpi AR Lab	3,88	7

Анализ распределения экспертных оценок показал устойчивое совпадение мнений экспертов относительно приложений AR.X Optics, ARPhysycs2 и Merge Explorer, которые получили наиболее высокие оценки по большинству критериев. Это свидетельствует о согласованности экспертных заключений и подтверждает объективность полученных результатов.

Полученные количественные оценки свидетельствуют о том, что высокий педагогический потенциал AR-приложений определяется не отдельными техническими характеристиками, а их комплексным сочетанием. Так, приложение AR.X Optics получило максимальную оценку по педагогическому потенциалу (4,8 балла) благодаря высокой интерактивности (4,8 балла). Возможность интерактивного взаимодействия позволяет обучающимся самостоятельно конструировать и изменять параметры оптических экспериментов. Это способствует формированию исследовательских навыков и развитию причинно-следственного понимания физических закономерностей.

Приложения Merge Explorer и ARPhysycs2 продемонстрировали высокие интегральные показатели вследствие оптимального сочетания визуализации физических процессов и научной корректности представляемых моделей. Напротив, более низкие показатели ObjectViewer и Merpi AR Lab связаны прежде всего с ограниченными возможностями интерактивного взаимодействия пользователя с моделями, что снижает их дидактическую эффективность.

Проведённый сравнительный анализ свидетельствует о том, что образовательная эффективность AR-приложений определяется комплексным сочетанием нескольких характеристик. Высокие итоговые оценки получили приложения, сочетающие качественную визуализацию физических процессов, интерактивное взаимодействие с виртуальными объектами и физически корректное моделирование явлений. Лидирующие позиции заняли

AR.X Optics, ARPhysycs2 и Merge Explorer, что подтверждает целесообразность их использования при изучении различных разделов школьного и вузовского курса физики.

Таким образом, результаты исследования показывают, что при выборе AR-симуляторов для обучения физике определяющее значение имеет не только качество визуализации, но и наличие механизмов активного взаимодействия обучающегося с моделируемыми объектами и процессами.

Результаты анализа показали, что AR-приложения наиболее эффективно используются при изучении следующих разделов физики: механика, оптика, электричество и магнетизм, молекулярная физика и термодинамика.

Установлено, что применение дополненной реальности способствует:

- повышению наглядности обучения;
- развитию пространственного мышления;
- развитию исследовательских навыков;
- снижению когнитивной нагрузки;
- повышению мотивации обучающихся.

Но были выявлены ограничения современных AR-систем:

- недостаточность количественного анализа;
- зависимость качества работы от технических характеристик устройств;
- недостаточная адаптация под различные уровни подготовки учащихся;
- фрагментарность отдельных проявлений.

Дискуссия

Полученные результаты подтверждают выводы современных исследований о высокой эффективности технологий дополненной реальности в естественнонаучном образовании. AR-технологии, в отличие от традиционных инструментов визуализации, позволяют не только демонстрировать физические процессы, но и интерактивное взаимодействие с моделями.

Результаты исследования показывают, что наибольший педагогический эффект достигается в тех случаях, когда у обучающегося имеется возможность изменять параметры модели и наблюдать последствия своих действий в режиме реального времени. Такой подход способствует причинно-следственному пониманию физических процессов и развитию исследовательских навыков.

Полученные данные согласуются с исследованиями А. Vidak, Z. Zufahmi, Lai J.W. и других авторов, указывающие на положительное влияние дополненной реальности на познавательную деятельность, мотивацию и пространственное восприятие учащихся.

Сравнительный анализ показал, что наиболее эффективно работают приложения с визуализацией, интерактивностью и возможностью экспериментального взаимодействия. Например, AR-приложения AR.X Optics и ARPhysycs2 предоставляют обучающимся возможность не только наблюдать за физическими процессами, но и моделировать различные сценарии путем изменения параметров системы, что приближает процесс обучения к исследовательской деятельности и помогает формировать устойчивые предметные компетенции.

Одним из важнейших преимуществ технологий дополненной реальности является возможность визуализации объектов и процессов, которые невозможно непосредственно наблюдать в реальных условиях. К таким процессам относятся распространение электромагнитных полей, движение элементарных частиц, молекулярные взаимодействия и распространение световых лучей. Пространственное представление таких явлений помогает снизить уровень абстракции учебного материала и облегчить понимание сложных физических законов.

В ходе анализа, было выявлено ряд ограничений существующих приложений дополненной реальности. Приложения в большинстве случаев ориентированы, в первую очередь, на

демонстрационный эффект, слабую интеграцию с математическим аппаратом физики. А также есть технические ограничения, связанные с производительностью мобильных устройств, стабильностью отслеживания и визуализацией качества.

Следовательно, эффективность использования дополнительной реальности зависит от методической организации образовательного процесса. Использование дополненной реальности без четко сформулированных учебных задач может привести к увеличению внешней когнитивной нагрузки, а также рассеянию внимания обучающегося на зрительные эффекты. В этой связи интеграция средств дополненной реальности должна сопровождаться разработкой конкретных методических планов, направленных на активное познание, исследовательскую деятельность и развитие аналитического мышления.

Среди направлений дальнейших исследований можно выделить возможность создания AR-систем с адаптивной архитектурой, в которых элементы искусственного интеллекта могут отслеживать действия обучающегося и корректировать сценарий обучения в зависимости от его успехов и трудностей. А встроенная аналитика могла бы дать преподавателю содержательную обратную связь, но не в форме формальных оценок, а в виде данных о том, где и почему возникают пробелы в понимании.

Перспективными также являются разработка единых критериев оценки качества AR-симуляторов и разработка методических рекомендаций по их использованию в школьном и университетском образовании.

Аналитические выводы исследования:

- Наиболее высокие показатели получили AR.X Optics, Merge Explorer и ARPhysycs2;
- В разделах оптики и механики наблюдается наибольшее количество решений с дополненной реальностью;
- Большинство приложений имеют ограниченные средства количественного анализа;
- Сохраняется зависимость качества работы от технических характеристик мобильных устройств.

Педагогические выводы:

- AR способствует формированию пространственного мышления;
- Снижает когнитивную нагрузку при изучении абстрактных физических процессов;
- Повышает мотивацию и вовлеченность обучающихся;
- Наибольший эффект достигается при возможности самостоятельного управления параметрами модели.

Заключение

Системный анализ показал, что технологии дополненной реальности обладают большим потенциалом для повышения эффективности изучения физики и формирования устойчивого понимания физических закономерностей.

Исследование показало, что наиболее эффективными являются приложения дополненной реальности, которые сочетают в себе высококачественную визуализацию, высокий уровень интерактивности, физически точные модели и возможность параметрического управления. Эти приложения позволяют учащимся взаимодействовать с виртуальными объектами, моделировать физические процессы и получать обратную связь в режиме реального времени.

Результаты сравнительного анализа показали, что приложения AR.X Optics, Merge Explorer и ARPhysycs2 обладают наибольшим педагогическим потенциалом. Их использование способствует развитию пространственного мышления, повышает мотивацию учащихся, снижает когнитивную нагрузку и развивает исследовательские навыки.

Было установлено, что технология дополненной реальности более эффективна при изучении областей физики, связанных с высоким уровнем абстракции: механика, оптика, электричества и магнетизм, молекулярная физика и термодинамика. Пространственная визуализация процессов помогает преодолеть разрыв между теоретическим описанием физических явлений и их практическим восприятием.

Однако исследование выявило ряд ограничений современных решений в области дополненной реальности, таких как фрагментация образовательного контента, отсутствие интеграции с количественным анализом, зависимость качества приложения от технических характеристик устройств и отсутствие адаптации к различным уровням подготовки студентов.

Следует отметить, что настоящее исследование имеет ряд ограничений. Работа носит теоретико-аналитический характер и основана на экспертной оценке функциональных и дидактических характеристик AR-симуляторов. В рамках исследования не проводилась экспериментальная проверка эффективности использования рассматриваемых приложений с участием обучающихся. В связи с этим педагогическая апробация предложенных выводов рассматривается как перспективное направление дальнейших исследований, направленное на оценку влияния AR-симуляторов на учебные достижения, познавательную активность и мотивацию обучающихся.

Научная новизна исследования заключается в разработке и применении единой системы критериев оценки AR-симуляторов, включающей показатели визуализации, интерактивности, физической корректности моделей и педагогического потенциала. В отличие от большинства существующих исследований, ориентированных на анализ отдельных приложений, в работе выполнено комплексное сравнение AR-решений различных областей физики, основанное на едином методологическом подходе. Это позволило выявить закономерности, определяющие образовательную эффективность AR-технологий, а также определить наиболее перспективные направления их применения в физическом образовании.

Ограничения исследования заключаются в том, что анализ проводился на основе семи наиболее репрезентативных AR-приложений, доступных на мобильных платформах в период 2025–2026 гг. Исследование не включало педагогический эксперимент с участием обучающихся и основывалось на экспертной оценке функциональных характеристик приложений. В дальнейшем целесообразно дополнить результаты экспериментальной проверкой влияния выявленных характеристик на учебные достижения учащихся.

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы преподавателями физики, разработчиками цифровых образовательных ресурсов и исследователями при проектировании интерактивных учебных сред и цифровых лабораторных работ.

Таким образом, дополненная реальность может рассматриваться как эффективный инструмент современной цифровой педагогики, позволяющий глубже и более осознанно понимать физические законы и явления при условии ее методической интеграции в образовательный процесс.

Список использованных источников

- [1] Lai J. W., Cheong K. H. *Educational opportunities and challenges in augmented reality: Featuring implementations in physics education* // *Ieee Access*. – 2022. – Т. 10. – С. 43143-43158 <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9755165>
- [2] Mansour, Nasser, Aras, Ceren and other *Embodied learning of science concepts through augmented reality technology. Education and Information Technologies*, 2025 <https://www.scopus.com/pages/publications/105002955776?origin=resultslist>
- [3] B. Arymbekov, K. Turekhanova, D. D. Alipbayev, Y. Tursanova *DEVELOPMENT OF AUGMENTED REALITY APPLICATION FOR PHYSICS AND GEOPHYSICS LABORATORY. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2023 <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-W2-2023-19-2023>
- [4] Azuma, R. T. (1997). *A survey of augmented reality. Presence* 6, 355–385 <https://www.ronaldazuma.com/papers/ARpresence.pdf>
- [5] Liru Chen, Hantao Zhao, Chenhui Shi, Youbo Wu, Xuwen Yu, Wenze Ren, Ziyi Zhang, Xiaomeng Shi, *Enhancing Multi-Modal Perception and Interaction: An Augmented Reality Visualization System for Complex Decision Making. Systems* 2024, 12(1), 7; <https://doi.org/10.3390/systems12010007>

- [6] A. Vidak, I. Movre Šapić, V. Mešić, V. Gomzi *Augmented reality technology in teaching about physics: a systematic review of opportunities and challenges*. *European journal of physics*, 2023 <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad0e84>
- [7] Z. Zufahmi, Fatchur Rohman, Murni Sapta Sari *Augmented reality in science learning: A systematic literature review*. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, Vol. 11 No. 1 (2025): MARCH https://www.researchgate.net/publication/390574197_Augmented_reality_in_science_learning_A_systematic_literature_review
- [8] J. Ferrer-Torregrosa, J. Torralba, M. A. Jimenez, S. García, and J. M. Barcia, “ARBOOK: Development and assessment of a tool based on augmented reality for anatomy,” *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 119–124, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9526-4> https://www.researchgate.net/publication/272497909_ARBOOK_Development_and_Assessment_of_a_Tool_Based_on_Augmented_Reality_for_Anatomy
- [9] F. Najwa Rusli, A. N. Zulkifli, M. N. Bin Saad, and Y. Md.Yussop, “A study of students’ motivation in using the Mobile Arc Welding Learning app,” *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 13, no. 10, p. 89, 2019. <https://doi.org/10.3991/ijim.v13i10.11305>
- [10] S. Vedadi, Z. B. Abdullah, and A. D. Cheok, “The effects of multi-sensory augmented reality on students’ motivation in English language learning,” in *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2019. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725096>
- [11] M. E. C. Santos et al., “Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning,” *Res. pract. technol. enhanc. learn.*, vol.11, no.1, p.4, 2016. <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0028-2>
- [12] K. J. Carlson and D. J. Gagnon, “Augmented reality integrated simulation education in health care,” *Clin. Simul. Nurs.*, vol. 12, no. 4, pp. 123–127, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2015.12.005>
- [13] J. Zhang, Y.-T. Sung, H.-T. Hou, and K.-E. Chang, “The development and evaluation of an augmented reality-based armillary sphere for astronomical observation instruction,” *Comput. Educ.*, vol. 73, pp. 178–188, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.01.003>
- [14] D. M. Bressler and A. M. Bodzin, “A mixed methods assessment of students’ flow experiences during a mobile augmented reality science game: Flow experience with mobile AR,” *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 29, no. 6, pp. 505–517, 2013. <https://doi.org/10.1111/jcal.12008>
- [15] S. Küçük, S. Kapakin, and Y. Göktaş, “Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load: Learning Anatomy,” *Anat. Sci. Educ.*, vol. 9, no. 5, pp. 411–421, 2016. <https://doi.org/10.1002/ase.1603>
- [16] M. Sirakaya and D. Alsancak Sirakaya, “Trends in educational augmented reality studies: A systematic review,” *Malays. Online J. Educ. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 60–74, 2018 <https://doi.org/10.17220/mojet.2018.02.005>
- [17] Kitchenham B, Charters S (2007) *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering version 2.3*. *Engineering* 45(4ve):1051. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>