УДК 378.1

Цифровизация физического эксперимента при подготовке физиков педагогического направления

Digitalization of physical experiment in the training of physicists of pedagogical direction

Нефедьев Л.А., Казанский (Приволжский) федеральный университет, nefediev@yandex.ru

Гарнаева Г.И., Казанский (Приволжский) федеральный университет, guzka-1@yandex.ru

Низамова Э.И., Казанский (Приволжский) федеральный университет, enizamova@yandex.ru

Шигапова Э.Д., Казанский (Приволжский) федеральный университет, elvshi@mail.ru

Nefediev L., Kazan Federal University, nefediev@yandex.ru

Garnaeva G., Kazan Federal University, guzka-1@yandex.ru

Nizamova E., Kazan Federal University, enizamova@yandex.ru

Shigapova E., Kazan Federal University, elvshi@mail.ru

DOI: 10.51379/KPJ.2021.145.2.018

Ключевые слова: лабораторный практикум, цифровой лабораторный практикум, виртуальный лабораторный практикум, цифровизация образования, индивидуальная образовательная траектория, самостоятельная работа, внеурочная деятельность, квантовая физика.

Keywords: laboratory practice, digital laboratory practice, virtual laboratory practice, digitalization of education, individual educational trajectory, independent work, extracurricular activities, quantum physics.

Аннотация. В процессе подготовки будущих учителей физики основное внимание следует уделять не передаче суммы готовых знаний, а знакомству обучающихся с методами научного познания окружающего мира, постановке проблем, требующих от учащихся самостоятельной деятельности по их разрешению. В процессе обучения в первую очередь следует обратить внимание на то, что физика – наука экспериментальная, но при переходе к познанию микромира и мегамира снижается возможность реализации экспериментальной деятельности обучающихся. Авторами предлагается один из способов практического решения этой проблемы, заключающийся в организации и проведении лабораторных занятий с использованием разработанной виртуальной версии лабораторных работ по квантовой физике, способствующей развитию профессиональных компетенций будущего учителя физики. Также в статье рассматривается использование разработанного авторами методического комплекса «Цифровые лабораторные работы при изучении школьного курса физики», который представляет собой лабораторные работы с использованием реального оборудования с цифровыми датчиками, сигнал с которых обрабатывается на компьютере. В состав комплекса включены учебно-методические материалы для подготовки, выполнения и защиты лабораторных работ. Для достижения цели авторы использовали следующие методы исследования: теоретический анализ состояния проблемы на основе изучения методической, дидактической, психологической и специальной литературы, диссертационных работ по проблеме исследования; материалов конференций по использованию цифровых технологий в физическом образовании, нормативных документов, определяющих структуру и содержание профессиональной подготовки учителя физики, изучение и обобщение педагогического опыта; компьютерное моделирование физических процессов, наблюдение, беседа, анкетирование, интервьюирование, проведение педагогического эксперимента.

Abstract. In the process of training future physics teachers, the main attention should be paid not to transfer the amount of ready-made knowledge, but to familiarize students with the methods of scientific knowledge of the world around them, and to pose problems that require students to independently solve them. In the course of training, first of all, you should pay attention to the fact that physics is an experimental science, but when you move to the knowledge of the microcosm and mega world, the possibility of implementing students' experimental activities decreases. The authors suggest one of the ways to solve this problem in practice, which is to organize and conduct laboratory classes using the developed virtual version of laboratory works on quantum physics, which contributes to the development of professional competencies of future physics teachers. The article also discusses the use of the methodological complex

developed by the authors "Digital laboratory work in the study of school physics", which is a laboratory work using real equipment with digital sensors, the signal from which is processed on a computer. To achieve this goal, the authors used the following research methods: theoretical analysis of the state of the problem based on the study of methodological, didactic, psychological and special literature, dissertation works on the problem of research; materials of conferences on the use of digital technologies in physical education, normative documents that determine the structure and content of professional training of physics teachers, the study and generalization of pedagogical experience; computer modeling of physical processes, observation, conversation, questioning, interviewing, conducting a pedagogical experiment.

Введение. С переходом на новые государственные образовательные стандарты основного и среднего (полного) общего образования изменяется и концепция физического образования [3]. В процессе обучения физике в школе у учащихся должны быть сформированы не только предметные, но и метапредметные и личностные результаты в соответствии с требованиями государственных стандартов. При изучении физики необходимо уделять внимание как содержательной, так и операциональной компоненте обучения. Только опираясь на деятельностный подход в обучении, учитель сможет развивать интеллектуальные способности, познавательный интерес, экспериментальные умения, исследовательские навыки обучающихся, позволяющие познавать окружающую действительность, что приведет к формированию научной картины мира [1;6].

Эксперимент является одним из важнейших элементов обучения физике. Основные принципы обучения, такие как наглядность, системность, последовательность, и особенно научность и связь теории с практикой, определяют необходимость применения школьного физического эксперимента в обучении. Введение в учебно-познавательную деятельность учащихся выполнения лабораторных работ различного формата способствуют развитию интеллектуальных и практических экспериментальных умений, включающие в себя с одной стороны умения определить цель эксперимента, выдвигать гипотезы, подбирать приборы, планировать эксперимент, вычислять погрешности, анализировать результаты, оформлять отчет о проделанной работе, и, с другой стороны, собирать экспериментальную установку, наблюдать, измерять. Необходимо акцентировать внимание, на том, что теоретическое обучение не противопоставляется обучению с помощью экспериментов, а является частью интегрированного процесса [7;13;14].

Методология исследования. Над проблемами учебного физического эксперимента работали методисты-физики: Покровский А.А., Анофрикова С.В., Каменецкий С.Е., Кабардин О.Ф., Сорокин А.В., Хорошавин С.А., Шахмаев Н.М. и др. Методические основы использования

персональных компьютеров в системе физического эксперимента решали в разное время исследователи: Воронин Ю.А., Степанов С.В., Смирнов А.В., Антонова Д.А., Оспенникова Е.В., Оспенников Н.А. и др. Частные вопросы применения компьютеров в демонстрационном и лабораторном экспериментах решали также Шамало Т.Н., Старовиков М.И., Майер, Р.В., Данилов О.Е., Скворцов А.И., Фишман А.И. и др.

С ростом уровня методической и технической оснащенности учебного процесса происходило и развитие учебного физического эксперимента в нашей стране [4;16]. В состав современного физического оборудования многих школ входят комплекты цифровых лабораторий по физике. Оборудование данных лабораторий представляет собой комплекс, включающий оборудование для демонстраций и проведения фронтальных лабораторных работ и работ физического практикума. Основным элементом этого комплекса является персональный компьютер, к которому подключаются цифровые датчики, измеряющие физические величины. Информация с датчиков обрабатывается программой, а результат демонстрируется на экране в виде таблиц с результатами экспериментов или графика зависимостей экспериментальных величин [12].

Результаты исследования. Авторами был разработан учебно-методический комплекс «Цифровые лабораторные работы при изучении школьного курса физики», представляющий собой лабораторные работы с оборудованием для постановки реального эксперимента, сопряженного с цифровыми датчиками и позволяющий экспериментально изучить физические явления и закономерности, входящие в курс физики основной школы, а также в курс физики базового и профильного уровней полной средней школы. Цифровая лаборатория предоставляет возможность для выполнения фронтальных лабораторных работ и учебных исследовательских задач, в ходе которых учащиеся самостоятельно планируют проведение эксперимента и выбирают алгоритм обработки данных [11].

На рисунке 1 приведены примеры установок и фрагментов выполнения работ.

Рисунок 1. – Установки цифровых лабораторных работ

Комплекс «Цифровые лабораторные работы при изучении школьного курса физики» снабжен учебно-методическими материалами, содержащими:

- описание теории и закономерностей физического процесса, наблюдаемого в работе;
- описание алгоритма выполнения лабораторного эксперимента и обработки полученных данных;
- вопросы для проверки уровня понимания теоретических основ выполняемого эксперимента;
- задания для самостоятельной работы по формированию практических навыков;
- творческое задание по разработке мини-проекта с использованием оборудования данной лабораторной работы.

Проведение цифровой лабораторной работы обеспечивает реализацию ряда методических идей:

- Возможность записи данных с экспериментальной установки в таблицы отчета.
- Проведение измерений с изображений, зафиксированных WEB-камерой используемого компьютера.
- Автоматический подбор аппроксимационных кривых для получения вида функциональной зависимости экспериментальных данных.
- Оформление отчета о выполнении лабораторной работы в виде файла, содержащего: данные об обучающихся, описание установки, фото экспериментальной установки, таблицы промежуточных и итоговых данных, графики, выводы [5].

Рисунок 2 демонстрирует фрагменты интерфейса программы при выполнении лабораторной работы.

Рисунок 2. – Фрагменты интерфейса программы цифровых лабораторных работ

Использование комплекса цифровых лабораторных работ в процессе обучения физике направлено на:

- повышение уровня мотивации и познавательной активности обучающихся;
- формирование у обучающихся готовности использовать свои знания в реальных жизненных ситуациях;
- развитие обучающихся в цифровой образовательной среде.

Комплекс цифровых лабораторных работ может использоваться в учебном процессе для проведения лабораторных занятий, для организации исследовательских практикумов, учебных исследовательских проектов.

Необходимо отметить, что при изучении определенных разделов физики формируются разные совокупности компетенций. Такие «макроскопические» разделы физики, как механика и электродинамика реализуют широкий спектр экспериментальной и конструкторской деятельности обучающихся, развивающей

интеллектуальные способности и креативность. Однако, например, при изучении квантовой физики, связанной со строением вещества и поведением микрочастиц, нет возможности проводить эксперименты на реальном оборудовании по следующим причинам: ничтожно малые размеры исследуемых систем, время протекания эксперимента, не укладывающееся в рамки учебного процесса; финансовая недоступность экспериментальных установок, повышенные требования к технике безопасности и т.д. Выходом из этой ситуации является компьютерный эксперимент – виртуальная модель реального физического опыта [15].

Изучение этого раздела является сложным для обучающихся из-за его математического аппарата и отсутствия наглядности. Поэтому авторы считают, что для достижения лучшего результата обучения по квантовой физике натурный эксперимент лабораторного практикума целесообразно дополнить компьютерным моделированием тех

лабораторных работ, выполнение которых в реальном режиме затруднительно. Выполнение виртуальных лабораторных работ позволит лучше понять суть физических процессов, происходящих в эксперименте [8-10].

В данной работе авторы описывают разработанный виртуальный лабораторный практикум «Квантовая физика», направленный на создание связи между математическим формализмом квантовой физики и ее конкретными практическими проявлениями. Основное внимание в практикуме уделяется физической стороне рассматриваемых вопросов [2].

Каждая работа представляет собой учебно-методический комплекс, содержащий руководство по выполнению практической части работы, краткие материалы теоретической части работы, интерактивную компьютерную модель физического эксперимента. Модель эксперимента, разработанная с использованием

пакетов программ Matlab, Delphi и C++ позволяет наглядно представить процессы, происходящие при выполнении эксперимента, и дает возможность изменять параметры, влияющие на ход эксперимента. В модель заложена возможность как математической, так и графической обработки результатов эксперимента.

На рисунках 3, 4 показаны примеры интерфейса лабораторных работ в процессе выполнения практического задания.

На рисунке 3 представлен фрагмент выполнения виртуальной лабораторной работы по квантовой физике «Внешний фотоэффект». Целью данной работы является ознакомление с экспериментальным исследованием явления внешнего фотоэффекта, подтверждение законов Столетова А.Г., построение вольт-амперной характеристики и вычисление постоянной Планка.

Рисунок 3. – Кадр лабораторной работы «Внешний фотоэффект»

На рисунке 4 представлен фрагмент выполнения виртуальной лабораторной работы по квантовой физике «Экспериментальное подтверждение ядерной модели атома. Опыт Резерфорда». Целью данной работы является экспериментальное определение зависимости угла отклонения альфа-частицы от определенных параметров (прицельный параметр, кинетическая энергия и др.). Программа наглядно демонстрирует траекторию движения альфа-частицы и позволяет провести измерение угла отклонения альфа-частицы от первоначальной траектории с точностью до десятых долей градуса.

Дисциплина «Современная квантовая физика в образовании» изучается студентами бакалавриата Института физики КФУ, обучающимися по направлению «Педагогическое образование» на четвертом курсе освоения основной образовательной программы. В 2018–2019 учебном году данную дисциплину осваивало двадцать восемь студентов. При освоении данного курса проводились лекционные, практические и лабораторные занятия. Лабораторные работы проводились только в виде натурального эксперимента. Студенты этой группы составляли контрольную группу проводимого педагогического эксперимента по апробации.

Рисунок 4. – Кадр лабораторной работы «Экспериментальное подтверждение ядерной модели атома. Опыт Резерфорда»

В 2019–2020 учебном году дисциплину осваивало тридцать обучающихся. Лабораторные занятия дополнились работами виртуального лабораторного практикума «Квантовая физика». Студенты этой группы составляли экспериментальную группу проводимого педагогического эксперимента по апробации. Перед освоением дисциплины со студентами обеих групп было проведен входной контроль знаний, который позволил определить, что уровень владения базовым теоретическим материалом, необходимым для освоения дисциплины, у групп совпадает, т.к. результаты диагностики обеих групп показали равенство средних значений с высокой вероятностью.

Контроль после прохождения лабораторного практикума проводился в форме тестирования, включающего в себя задания разного типа, позволяющие выявить уровень освоения предметной области курса, а также степень сформированности методических навыков по использованию виртуальных лабораторных работ в процесс обучения физике. Итоги тестирования показали, что внедрение виртуального лабораторного практикума «Квантовая физика» в учебный процесс влияет на уровень понимания сути физических процессов, рассматриваемых в квантовой физике.

Статистическая обработка полученных в ходе исследования эмпирических данных осуществлялась с использованием методов

математической статистики (описательная, индуктивная статистика, дисперсионный анализ, корреляционный анализ) и качественного анализа полученных данных. Вычисления проведены с использованием специализированных компьютерных статистических пакетов Microsoft Office Excel 2010, SPSS 19.

В ходе анализа результатов контрольного тестирования выявлены различия по таким критериям, как: правильно выполнили все задания на 100%, правильно выполнили от 75% до 99% заданий, правильно выполнили от 50% до 74% заданий, правильно выполнили от 25% до 49% заданий, правильно выполнили от 1% до 24% заданий. Результаты однофакторного дисперсионного анализа позволяют заключить, что существуют достоверные различия в результатах выполнения контрольного тестирования, подтверждающие факт влияния внедрения апробируемого виртуального лабораторного практикума «Квантовая физика» в группах испытуемых.

Результаты проведенного тестирования, наблюдения и беседы во время сдачи отчета по выполнению лабораторных работ показали, что внедрение виртуального лабораторного практикума «Квантовая физика» в учебный процесс позволяет повысить уровень понимания сути физических процессов, рассматриваемых в квантовой физике.

С методической точки зрения имеются различные возможности использования данного цифрового комплекса лабораторных работ. Комплекс цифровых лабораторных работ может использоваться в учебном процессе для проведения как аудиторных, так и внеаудиторных лабораторных занятий, позволяющих организовывать исследовательские практикумы, разрабатывать учебные исследовательские проекты. Введение таких лабораторных работ в процесс обучения физике позволит проводить лабораторные занятия и в тех учреждениях, в которых нет специального оборудования. Очевидным преимуществом является возможность его использования при дистанционном обучении физике.

Заключение. По мнению авторов, цифровизация физического эксперимента при обучении физиков педагогического направления наиболее широко идет по двум направлениям: включение компьютеров в систему натурального эксперимента в качестве измерительно-регистрирующего устройства и компьютерное моделирование физических процессов, реализованное в форме виртуальных физических экспериментов.

В ходе разработки и фрагментарной апробации методического комплекса «Цифровые лабораторные работы при изучении школьного курса физики» и виртуального лабораторного практикума «Квантовая физика» основной акцент был сделан на формирование у студентов навыков по использованию данных разработок в будущей профессиональной деятельности в качестве учителей физики. Цель апробации заключалась в исследовании возможности развития профессиональных компетенций по проектированию уроков, организации и управлению исследовательской и проектной деятельностью учащихся с использованием аналогичного оборудования. Результаты бесед со студентами, анализ продуктов деятельности, таких как: отчеты по лабораторным работам, выполнение рефератов, курсовых работ, отчеты по педагогической практике показали, что введение цифрового и моделированного физического экспериментов в процесс подготовки будущих учителей физики способствует развитию профессиональных компетенций в области формирования экспериментальных умений и ИКТ-компетенций учащихся.

Литература:

1. Nizamova E.I., Garnaeva G.I., Nefediev L.A., Mingazov R.R. Application Of Modern Physical Laboratory Equipment For Professional Competence Formation Of Practice-Oriented Teachers In Physics / Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 11, Special Issue-08, 2019.
2. Nefediev L.A., Garnaeva G.I., Shigapova E.D., Nizamova E.I. The Use of Digital Laboratory Work in Quantum Physics in the Process of Learning Physics Teachers / Part of: VI International Forum on Teacher Education. - 2020. - P. 1767-1777 10.3897/ap.2.e1767
3. Альтшулер Ю.Б. Направления обновления школьного физического образования на современном этапе / Ю.Б. Альтшулер // Наука и школа. - 2009. - № 1. - С. 13-16.
4. Антонова Д.А., Оспенникова Е.В., Оспенников Н.А. Система дидактического обеспечения лабораторных занятий по физике в условиях применения средств ИКТ / Д.А. Антонова, Е.В. Оспенникова, Н.А. Оспенников // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. - 2012. - № 8.
5. Африна Е.И., Крылов А.И. ИКТ в исследовательской деятельности школьников / Е.И. Африна, А.И. Крылов // Народное образование. - 2012. - № 1. - С. 176-183.
6. Ахмедова А.М., Матвейчева О.А. Новые подходы в обучении физике с использованием

- современных информационно-коммуникационных технологий / А.М. Ахмедова, О.А. Матвейчева, А.И. Скворцов, А.И. Фишман, Э.Д. Шигапова // Казанский педагогический журнал. - 2015. - № 3 (110) - С. 24-28.
7. Гайнуллин Ф.Ф., Гарнаева Г.И. Применение современного физического лабораторного оборудования для формирования профессиональных компетенций практико-ориентированных учителей физики / Ф.Ф. Гайнуллин, Г.И. Гарнаева, Э.И. Низамова, Л.А. Нефедьев // Современное педагогическое образование. - 2018. - № 1. - С. 50-56.
8. Данилов О.Е. Создание систем виртуальной реальности для обучения физике / О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. - 2015. - № 4. - С. 20-27.
9. Канаева А.Ю. Компьютерное моделирование учебного физического эксперимента без программирования: сборник научных трудов / А.Ю. Канаева // Проблемы учебного физического эксперимента / Материалы XXIII Всероссийской научно-практической конференции. - Издательство: Институт стратегии развития образования Российской академии образования (Москва). - 2018. - С. 127-128.
10. Майер Р.В. Компьютерное моделирование физических явлений: монография / Р.В. Майер. - Глазов: ГГПИ, 2009. - 112 с.
11. Нефедьев Л.А., Гарнаева Г.И. Цифровые лабораторные работы при изучении школьного курса физики: сборник научных трудов / Л.А. Нефедьев, Г.И.

Гарнаева, Э.И. Низамова, Э.Д. Шигапова // Перспективы и приоритеты педагогического образования в эпоху трансформаций, выбора и вызовов / VI Виртуальный Междунар. форум по педаг. образованию. - Ч 1. - Казань: Изд-во Казанского университета. - 2020. - С. 222-227.

12. Никифоров Г.Г., Поваляев О.А. Лабораторный комплект нового поколения «ФГОС-лаборатория» / Г.Г. Никифоров, О.А. Поваляев // Двадцать первая Всероссийская конференция. Учебный физический эксперимент. Актуальные проблемы. Современные решения. - Глазов. - 2016. - 115 с.

13. Старовиков М.И. Исследовательский учебный эксперимент по физике с компьютерной поддержкой:

Книга для учителя / М.И. Старовиков. - Бийск: НИЦ БПГУ, 2002. - 128 с.

14. Степанов С.В., Смирнов С.А. Лабораторный практикум по физике / С.В. Степанов, С.А. Смирнов. - М.: ФОРУМ: ИНФРА. - М., 2010. - 112 с.

15. Хорошавин С.А. Демонстрационный эксперимент по физике: оптика. Атомная физика: кн. для учителя / С.А. Хорошавин. - М.: Просвещение, 2007. - 79 с.

16. Шамало Т.Н. Усиление наглядности при комплексном использовании компьютерных моделей и учебного физического эксперимента: сб. науч. трудов / Т.Н. Шамало // Проблемы учебного физического эксперимента; Глазовский гос. пед. ин-т. - Глазов - СПб., 1999. - Вып. 8. - С. 34-35.

References:

1. Nizamova E.I., Garnaeva G.I., Nefediev L.A., Mingazov R.R. Application Of Modern Physical Laboratory Equipment For Professional Competence Formation Of Practice-Oriented Teachers In Physics / Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 11, Special Issue-08, 2019.

2. Nefediev L.A., Garnaeva G.I., Shigapova E.D., Nizamova E.I. The Use of Digital Laboratory Work in Quantum Physics in the Process of Learning Physics Teachers / Part of: VI International Forum on Teacher Education. - 2020. - P. 1767-1777 10.3897 / ap.2.e1767

3. Altshuler Yu.B. Directions of renewal school physical education at the present stage / Yu.B. Altshuler // Science and school. - 2009. - № 1. - S. 13-16.

4. Antonova D.A., Ospennikova E.V., Ospennikov N.A. System of didactic support of laboratory classes in physics in the conditions of using ICT-tools / D.A. Antonova, E.V. Ospennikova, N.A. Ospennikov // Messenger of the Perm State Humanitarian Pedagogical University. Series: Information Computer Technologies in Education. - 2012. - № 8.

5. Afrina E.I., Krylov A.I. ICT in the research activity of school-children / E.I. Afrin, A.I. Krylov // Public education. - 2012. - № 1. - S. 176-183.

6. Akhmedova A.M., Matveycheva O.A. New approaches in teaching physics, using modern information and communication technologies / A.M. Akhmedova, O.A. Matveycheva, A.I. Skvortsov, A.I. Fishman, E.D. Shigapova // Kazan Pedagogical Journal. - 2015. - № 3 (110) - S. 24-28.

7. Gainullin F.F., Garnaeva G.I. The use of modern physical laboratory equipment for the formation of professional competencies of practice-oriented teachers of physics / F.F. Gainullin, G.I. Garnaeva, E.I. Nizamova, L.A. Nefediev // Modern pedagogical education. - 2018. - № 1. - P. 50-56.

8. Danilov O.E. Creation of virtual reality systems for teaching physics / O.E. Danilov // Distance and virtual learning. - 2015. - № 4. - S. 20-27.

9. Kanaeva A.Yu. Computer modeling of an educational physical experiment without programming: collection of scientific works / A.Yu. Kanaeva // Problems of an educational physical experiment / Materials of the XXIII All-Russian scientific-practical conference. - Publisher: Institute of Education Development Strategy of the Russian Academy of Education (Moscow). - 2018. - S. 127-128.

10. Mayer R.V. Computer modeling of physical phenomena: monograph / R.V. Mayer. - Glazov: GGPI, 2009. - 112 p.

11. Nefediev L.A., Garnaeva G.I. Digital laboratory work in the study of school physics course: collection of scientific papers / L.A. Nefediev, G.I. Garnaeva, E.I. Nizamova, E.D. Shigapova // Prospects and priorities of pedagogical education in the era of transformations, choices and challenges / VI Virtual Intern. forum on educators. education. - Part 1. - Kazan: Publishing house of Kazan University. - 2020. - S. 222-227.

12. Nikiforov G.G., Povalyayev O.A. New generation laboratory set "FSES-laboratory" / G.G. Nikiforov, O.A. Povalyayev // Twenty-first All-Russian Conference. Educational physical experiment. Actual problems. Modern solutions. - Eyes. - 2016. - 115 p.

13. Starovikov M.I. Research educational experiment in physics with computer support: Teacher's book / M.I. Starovikov. - Biysk: Research Center BPGU, 2002. - 128 p.

14. Stepanov S.V., Smirnov S.A. Laboratory workshop in physics / S.V. Stepanov, S.A. Smirnov. - M.: FORUM: INFRA. - M., 2010. - 112 p.

15. Khoroshavin S.A. Demonstration experiment in physics: optics. Atomic physics: book. for teacher / S.A. Khoroshavin. - M.: Education, 2007. - 79 p.

16. Shamalo T.N. Enhancement of visibility in the complex use of computer models and educational physical experiment: collection of articles. scientific works / T.N. Shamalo // Problems of an educational physical experiment; Glazovsky state ped. in-t. - Glazov. - SPb., 1999. - Issue. 8. - S. 34-35.

Сведения об авторах:

Нефедьев Леонид Анатольевич (г. Казань, Россия), доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики Института физики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: nefediev@yandex.ru

Гарнаева Гузель Ильдаровна (г. Казань, Россия), кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики Института физики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: guzka-1@yandex.ru

Низамова Эльмира Ильгамовна (г. Казань, Россия), старший преподаватель кафедры общей физики Института физики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: enizamova@yandex.ru

Шигапова Эльвера Дамировна (г. Казань, Россия), старший преподаватель кафедры общей физики Института физики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: elvshi@mail.ru