

ISSN 2712-8326



НАУКА ONLINE *SCIENCE ONLINE*

Электронный научный журнал
№ 4 (13) | 2020

<http://nauka-online.ru/>

НАУКА ONLINE, № 4 (13), 2020.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 – 75253 от 01.04.2019 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN 2712-8326

Выходит 4 раза в год.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Главный редактор: К. К. Алтунин.

Адрес редакции: Россия, 432071, г. Ульяновск, площадь Ленина, д. 4/5.

Официальный сайт: <http://nauka-online.ru/>

E-mail: nauka_online@ulspu.ru

Science online, issue 4 (13), 2020.

The certificate of registration of the mass media EL No. FS 77 – 75253 dated 01.04.2019 was issued by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskommnadzor).

ISSN 2712-8326

Published 4 times a year.

Founder: Ulyanovsk State Ulyanov Pedagogical University.

Editor-in-chief: K. K. Altunin.

Editorial office address: Russia, 432071, Ulyanovsk, Lenin Square, 4/5.

Official site: <http://nauka-online.ru/>

E-mail: nauka_online@ulspu.ru

Редакционная коллегия

Главный редактор — Алтунин Константин Константинович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Артемьева Елена Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры географии и экологии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Демин Максим Викторович, кандидат физико-математических наук, директор департамента по научной работе Балтийского федерального университета имени И. Канта, г. Калининград.

Идрисов Ринат Галимович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического моделирования Стерлитамакского филиала ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет».

Капитанчук Василий Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева.

Медетов Нурлан Амирович, доктор физико-математических наук, декан факультета информационных технологий Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова, г. Костанай, республика Казахстан.

Пестова Наталия Юрьевна, кандидат химических наук, доцент кафедры биологии и химии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Пырова Светлана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии и химии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Федоров Владимир Николаевич, кандидат географических наук, профессор, доцент кафедры географии и экологии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Фёдорова Екатерина Александровна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Цыганов Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией математического моделирования, доцент кафедры высшей математики ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Червон Сергей Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Шишкарев Виктор Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Шубович Валерий Геннадьевич, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, заведующий кафедрой информатики, профессор кафедры информатики ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Editorial team

Editor-in-Chief — Konstantin Konstantinovich Altunin, PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Elena Aleksandrovna Artemyeva, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Geography and Ecology of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Maksim Viktorovich Demin, PhD, Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Director of the Research Department, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

Rinat Galimovich Idrisov, PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling of the Sterlitamak branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bashkir State University”.

Vasily Vyacheslavovich Kapitanchuk, PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics of the Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after the Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev.

Nurlan Amirovich Medetov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Dean of the Faculty of Information Technologies, Kostanay State University named after A. Baitursynov, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Nataliya Yurievna Pestova, PhD, Candidate of Chemistry Science, Associate Professor of the Department of Biology and Chemistry of the Ulyanovsk State Pedagogical University.

Svetlana Aleksandrovna Pyrova, PhD, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Chemistry of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Vladimir Nikolaevich Fedorov, PhD, Candidate of Geographical Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of Geography and Ecology of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Ekaterina Aleksandrovna Fedorova, PhD, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Andrey Vladimirovich Tsyganov, PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Mathematical Modeling, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Sergey Viktorovich Chervon, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Viktor Vyacheslavovich Shishkarev, PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics and Technical Disciplines of Ulyanovsk State Pedagogical University.

Valeriy Gennadievich Shubovich, Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Informatics, Professor of the Department of Informatics of Ulyanovsk State Pedagogical University.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Педагогические науки	1
Теория образования и обучения физике	1
1 Исследование системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы <i>А. А. Карташова</i>	
19 Исследование научно-методических основ деятельности кружка по нанотехнологии и наноплазмонике в университете <i>О. В. Тырлышкина</i>	
29 Исследование активизации познавательной деятельности учащихся школы на уроке физики с помощью игровых технологий обучения <i>Е. А. Купрянова</i>	
Физико-математические науки	37
Астрономия	37
37 Современные тенденции развития астрофизики нейтронных звёзд <i>Е. С. Кузьмина</i>	
Механика	45
45 Математическое и компьютерное моделирование в управлении воздушным движением <i>В. П. Глухов, В. А. Казаков, А. С. Узкая, А. В. Сидяев</i>	
Оптика	53
53 Исследование оптического пропускания и отражения границы раздела с нанокompозитной плёнкой на подложке из аморфного кремния <i>К. К. Алтунин, Е. А. Гршанина</i>	
75 Исследование оптического пропускания нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала <i>К. К. Алтунин, Е. А. Шлёнкина</i>	
99 Исследование оптических свойств границы раздела между воздухом и нанокompозитной средой с экстремально низким показателем преломления <i>К. К. Алтунин, Е. С. Штром</i>	
Современные информационные технологии в физике	121
121 Разработка элементов электронного образовательного ресурса по ядерной физике <i>Н. Ю. Бурмистрова</i>	
131 Разработка электронного образовательного ресурса в виде сайта по молекулярной физике и термодинамике <i>Е. Е. Волкова</i>	
149 Разработка элементов онлайн-курса по физике для девярых классов общеобразовательной школы <i>А. А. Карташова</i>	
160 Разработка элементов онлайн-курса по элементарной физике <i>Я. С. Замлелова</i>	
Авторский указатель	181

CONTENTS

Pedagogical sciences	1
Theory of education and teaching physics	1
1 Investigation of the training system in physics in the ninth grade of a comprehensive school <i>A. A. Kartashova</i>	
19 Investigation of the scientific and methodological foundations of the activities of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the university <i>O. V. Tyrllyshkina</i>	
29 Investigation of intensification of the cognitive activity of schoolchildren in a physics lesson with the help of game learning technologies <i>E. A. Kupreyanova</i>	
Physics and mathematics	37
Astronomy	37
37 Modern trends in the development of astrophysics of neutron stars <i>E. S. Kuzmina</i>	
Mechanics	45
45 Mathematical and computer modeling in air traffic control <i>V. P. Glukhov, V. A. Kazakov, A. S. Uzkaya, A. V. Sindyaev</i>	
Optics	53
53 Investigation of optical transmission and reflection of the interface with a nanocomposite film on an amorphous silicon substrate <i>K. K. Altunin, E. A. Grishanina</i>	
75 Investigation of the optical transmission of a nanocomposite with inclusions from a toroidal metamaterial <i>K. K. Altunin, E. A. Shlyonkina</i>	
99 Investigation of the optical properties of the interface between air and a nanocomposite medium with an extremely low refractive index <i>K. K. Altunin, E. S. Shtrom</i>	
Modern information technologies in physics	121
121 Development of elements of an electronic educational resource on nuclear physics <i>N. Yu. Burmistrova</i>	
131 Development of an electronic educational resource in the form of a website on molecular physics and thermodynamics <i>E. E. Volkova</i>	
149 Development of elements of an online physics course for the ninth grade of a comprehensive school <i>A. A. Kartashova</i>	
160 Development of elements of an online course on elementary physics <i>Ya. S. Zamlelova</i>	
Author's index	181

Секция 1

Педагогические науки

УДК 373.1
ББК 74.262.23
ГРНТИ 14.25.09
ВАК 13.00.02

Исследование системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы

А. А. Карташова  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 28 ноября 2020 года
После переработки 2 декабря 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассмотрены особенности авторской системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы. Представлены результаты педагогического эксперимента по апробации системы подготовки по физике, связанного с осуществлением своеобразно сконструированного процесса обучения физике в девятом классе общеобразовательной школы. Педагогический эксперимент по апробации системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы включает в себя проведение педагогических наблюдений и измерений в контролируемых условиях, согласованных с поставленными задачами по апробации системы подготовки по физике в общеобразовательной школе. Показано, что авторская система подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы способствует развитию познавательного интереса к физике.

Ключевые слова: физика, система подготовки, педагогический эксперимент, образовательная технология, дистанционная технология обучения, общеобразовательная школа

¹E-mail: alesya_alekseevna@inbox.ru

Введение

В настоящее время широкое применение получили различные авторские системы подготовки по физике, содержащие элементы смешанного или дистанционного обучения. Наличие элементов смешанного или дистанционного обучения позволяет легче контролировать процесс изучения физики и автоматизировать некоторые этапы проверки выполнения заданий по физике.

В настоящей работе рассматриваются теоретические и методические проблемы разработки и апробации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы с различными элементами информационной поддержки изучения физики. Проведён всесторонний анализ особенностей систем подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы.

Актуальность, теоретическая и практическая значимость рассматриваемой проблемы, потребность педагогической практики в научно-обоснованном обеспечении процесса обучения физике информационными средствами поддержки изучения физики, способными не только эффективно передавать учебную информацию по курсу физики, но и соответствовать потребностям учащихся, что позволяет рассматривать процесс разработки и реализации системы подготовки по физике как актуальную современную задачу педагогического исследования.

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании, разработке, совершенствовании и реализации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы.

Задачи исследования:

1. написать обзор литературы по методикам, применяемым в системах подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы, описать теорию и методику использования различных современных систем подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы,
2. разработать систему подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы с использованием дистанционных и смешанных технологий обучения физике.

Объектом исследования является процесс обучения физике в девярых классах в общеобразовательной школе в курсе основной школы.

Предметом исследования являются теоретические и практические материалы системы подготовки по физике и формирования умений учащихся использовать знания в ходе изучения физики в девярых классах общеобразовательной школы.

Гипотеза исследования представляет собой предположение о том, что если разработать систему подготовки, основанную на дидактически обработанной связи физико-математических дисциплин, позволяющую организовать процесс творческого применения учащимися знаний на основе активной экспериментальной деятельности, и развить учебную деятельность обучающихся с применением сбалансированной системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы, то умения учащихся по физике будут сформированы на требуемом уровне, что позволит успешно активизировать познавательную, творческую, поисковую деятельность учащихся на уроках физики в девярых классах и повысить качество обучения физике в девярых классах общеобразовательной школы.

В качестве **методов научного исследования** используются анализ научной и психолого-педагогической литературы по теме исследования, классификация систем подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы, личное преподавание физики в девярых классах общеобразовательной школы, наблюдение за различными группами школьников в процессе обучения физике в девяром классе общеоб-

разовательной школы, педагогический эксперимент по апробации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы. Методологическую основу исследования составили системный, деятельностный, компетентностный, информационный и личностный подходы, на основе которых были проведены анализ предмета данного исследования и синтез целостной концепции системы подготовки по физике в общеобразовательной школе.

Научная новизна исследования:

1. Обоснована необходимость создания авторской системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы, позволяющей оптимально сочетать учебно-деятельностные, компетентностные и знаниевые компоненты, включающей в себя самостоятельную, учебную и учебно-научную исследовательскую работу обучаемых.
2. На методологическом и организационно-процессуальном уровнях предложено новое решение проблемы повышения эффективности системы подготовки по физике в общеобразовательной школе и эффективного обучения физике.
3. Разработаны концепция и модель системы подготовки по физике в общеобразовательной школе, базирующиеся на системном подходе. Основные положения концепции и элементы структуры методической системы направлены на создание и реализацию условий, способствующих формированию у обучаемых исследовательских компетенций, творческого подхода к физическому эксперименту, качественного освоения большого объёма учебной информации, её критического анализа, поиска нестандартных подходов к решению сложных физических задач в учебно-научной деятельности.
4. Разработана система подготовки по физике в девяром классе в общеобразовательной школе, отвечающая методологии научного исследования.

База исследования: МБОУ СШ № 48 имени Героя России Д. С. Кожемякина, находящаяся по адресу город Ульяновск, улица Амурская, 10.

Обзор научных работ по методикам в системе подготовки по физике в общеобразовательной школе

Повышенный интерес к развитию систем задач по физике для профильного и базового уровней изучения курса физики в школе стимулирует большое количество работ [1–10], которые содержат оригинальные системы задач по физике, системы информационной поддержки изучения систем задач по физике в школе. В рамках системного подхода процесс обучения физике представляют в виде сложной многоуровневой системы, функционирующей под действием разнообразных факторов и связей учебного процесса по физике. В статьях [11, 12] предложена методика оценки основных характеристик педагогических моделей обучения физике. В статье [13] рассматривается проблема организации экспериментальной работы по физике. В работе [14] описано обучение решению экспериментальных задач по физике как средство интеллектуального развития учащихся. В работе [15] изложены основные подходы к построению методики изучения физики на основе научного метода познания и самостоятельных экспериментальных исследований.

В работах [16–18] описаны основные подходы к формированию у учащихся учебных умений и навыков учащихся на уроках физики. Многоуровневая система подготовки по физике должна использовать разносторонние методы обучения физике такие, как объяснительно-иллюстративные методы, репродуктивные методы, проблемно-поисковые методы, эвристические методы, логические методы, исследовательские методы, методы самостоятельной работы, метод беседы.

В статье [19] рассматриваются способы подготовки учащихся девятого класса к государственной итоговой аттестации по физике в среде дополнительного образования при вузе.

Особенности системы преподавания физики в гимназии описаны в работе [20]. Методологические подходы в обучении физике в средней школе на примере изучения механики рассматривались в работе [21].

В статье [22] анализируются виды учебно-познавательной деятельности политехнической направленности курса физики средней школы, а также предлагается обновленный вариант видов деятельности, базирующийся на системе источников учебной информации.

В статье [23] описаны результаты, накопленные в результате педагогического опыта по использованию педагогических технологий, разработок по предлагаемой теме в рамках зачетной системы в ходе подготовки учащихся к сдаче экзамена по физике в форме ГИА и ЕГЭ.

Общедидактические аспекты оптимизации процесса обучения описаны в работе [24]. Критерии оптимизации содержания и структуры учебника физики рассмотрены в работе [25]. Историко-методологический анализ, проведенный в соответствии с принципом цикличности в методике преподавания физики, описан в работе [26].

Анализ методик, применяемых в различных системах подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы, позволяет сформировать оптимальную стратегию реализации системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы. В ходе написания обзора литературы по методикам, применяемым в различных системах подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы, показано, что стратегия реализации системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы должна базироваться на оптимальном сочетании традиционных и онлайн-методов обучения физике с использованием систем проверки знаний.

Характеристика системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы

Система подготовки по физике призвана сформировать фундаментальные представления о природе. Современная школа требует от учителей физики реализации цели формирования ключевых компетентностей, универсальных способов действия обучающихся, позволяющих учащимся успешно описывать физические явления и процессы, а также продуктивно решать задачи по физике в изменяющихся условиях, в том числе задачи инновационного характера, связанные с прикладными исследованиями в области физики.

В настоящее время в девятом классе общеобразовательной школы наблюдается резкое уменьшение количества часов, отводимых на изучение физики. В связи с этим становится актуальным использование системы подготовки включающей различные методы интенсификации процесса обучения физике в девятом классе общеобразовательной школы, позволяющие более интенсивно и продуктивно изучать теоретический материал по физике, более эффективно формировать умение решать задачи по физике различного уровня сложности.

В девятом классе по физике изучаются законы механики в объеме 31 час, механические колебания и волны в объеме 8 часов, электромагнитные колебания и волны в объеме 20 часов, элементы квантовой физики в объеме 16 часов, состав и строение Вселенной в объеме 12 часов.

Переход на новые образовательные стандарты ставит одной из главных задач перед системой общего образования задачу формирования у учащихся универсальных учеб-

ных действий, ориентация на общекультурное, личностное и познавательное развитие учащихся, обеспечивающая такую ключевую компетенцию, как уметь учиться. Качество усвоения знаний определяется многообразием и характером видов универсальных действий. Широкое использование различных цифровых инструментов позволяет эффективно формировать универсальные учебные действия в современной цифровой образовательной среде, используя современные коммуникационные возможности школы, социальные сервисы. Поэтому учитель должен создать для ученика современную образовательную среду, способную формировать оперативное представление о современном состоянии развития физики в процессе обучения физики. Использование компьютерных технологий в физике позволяет организовать познавательную работу учащихся на уроке физики по изучению физических явлений.

Предполагается, что учитель физики средней школы будет иметь основной или дополнительный предмет по физике (или эквивалентный курс физики). Изучение физики должно охватывать широкий круг тем в области общей физики, классической механики, электромагнетизма, термодинамики, волнового движения, звука, оптики и современной физики. Подмножество этих разделов также должно включать лабораторные исследования, основанные на запросах современного общества. Учителя должны иметь опыт физических исследований, чтобы связать теорию с практикой по дисциплине.

Превосходство в физике в средней школе зависит от многих вещей: учителя, содержания курса, наличия оборудования для лабораторных экспериментов, чёткой философии и работоспособного плана для удовлетворения потребностей учащихся, серьёзной приверженности целям обучения и адекватной финансовой поддержки. Однако роль учителя самая важная. Без хорошо образованного, сильно мотивированного, квалифицированного и пользующегося хорошей поддержкой учителя арка передового опыта в области физики в средней школе рушится. Учитель физики является залогом качества образования по физике. Для формирования практических навыков работы с физическими приборами и оборудованием у учащихся на уроках физики особое место должно уделяться демонстрационному эксперименту, выполнению фронтальных лабораторных работ и работ физического практикума. Физический эксперимент на уроках физики формирует у учащихся представления о физических явлениях и процессах. База знаний учителя физики состоит из трёх компонентов: содержательные знания, педагогические знания и педагогические знания по содержанию.

Комплекс подходов для развития у учащихся учебных умений по физике можно разделить на несколько групп. К первой группе подходов для развития у учащихся учебных умений по физике относятся системный подход и интегративный подход. Ко второй группе подходов для развития у учащихся учебных умений по физике относятся структурно-интегративный подход, личностно-ориентированный подход. К третьей группе подходов для развития у учащихся учебных умений по физике относится информационно-проектнодеятельностный подход. К четвёртой группе подходов для развития у учащихся учебных умений по физике относятся системно-процессный подход, информационно-проектный подход.

Современный урок физики можно представить как адаптивную целостную педагогическую систему, состоящую из множества взаимосвязанных элементов обучения физике. Под педагогической системой понимают социально обусловленную целостность взаимодействующих на основе сотрудничества между собой, окружающей средой и её духовными и материальными ценностями участников педагогического процесса, направленную на формирование и развития личности. В процесс обучения физике входят цель обучения, деятельность учителя, деятельность учащихся и результат. Переменными составляющими процесса обучения физик выступают современные технические и педагогические средства обучения физике (содержание учебного материала, методы

обучения, материальные средства обучения, организационные формы обучения).

Основные компоненты процесса обучения опишем следующим образом. Мотивационный компонент процесса обучения включает в себя потребности, интересы, мотивы, обеспечивающие включение ученика в процесс активного учения. Ориентировочный компонент процесса обучения включает в себя принятие учениками цели учебно-познавательной деятельности, её планирования прогнозирование. Содержательно-операционный компонент процесса обучения представляет собой систему ведущих знаний по физике и способов обучения физике как инструмент получения, переработки и хранения информации о физических явлениях и процессах. Энергетический компонент процесса обучения включает в себя внимание, волю, эмоции в процессе изучения различных физических явлений и процессов. Рефлексивный компонент процесса обучения включает в себя самоконтроль ученика, самооценка результата и выхода выполнения действия, оценка себя в деятельности с учетом оценки других, саморегулирование и коррекция учения, самоуправление, развитие организационных умений (постановка цели и планирование своей деятельности), развитие оценочных умений (осознание значимости изучаемого в реальной жизни и её оценка).

В традиционном уроке физики является приоритетной обучающая задача урока физики, а на уроке формирования общеучебных умений приоритетным является взаимосвязь задач. Причём ведущими задачами могут быть и обучающая, и воспитывающая, и развивающая задачи в зависимости от конкретной ситуации урока физики.

Результаты педагогического эксперимента по апробации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы

В настоящей части работы приводится описание педагогического эксперимента по апробации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы, связанного с осуществлением своеобразно сконструированного процесса обучения физике в девярых классах общеобразовательной школы. Педагогический эксперимент по апробации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы предполагает проведение педагогических наблюдений в контролируемых условиях, согласованных с поставленными задачами по апробации системы подготовки по физике.

Базой проведения педагогического эксперимента по апробации системы подготовки по физике является МБОУ Средняя школа № 48 имени Героя России Д. С. Кожемякина, находящаяся по адресу: город Ульяновск, улица Амурская, 10.

В ходе проведения педагогического эксперимента по апробации системы подготовки по физике в девярых классах общеобразовательной школы происходили наблюдения за двумя классами учеников. В рамках педагогического эксперимента проводился планомерный контроль знаний по физике в девярых классах общеобразовательной школы в рамках изучения нескольких тем. На успешность проведения педагогического эксперимента по физике в девярых классах общеобразовательной школы повлияло наличие необходимых технических средств обучения физике: это и наличие лаборантской комнаты в кабинете физики и соответствующий инструментарий и инвентарь. В классах на стенах имеются плакаты, которые дают наглядное представление об основных понятиях и явлениях физики. В кабинете физики созданы все условия, необходимые в образовательном процессе по физике.

Для проведения педагогического эксперимента были выбраны два класса 9а класс и 9б класс. Если рассматривать учеников 9а класса: всего 15 учеников в классе. В 9а классе 8 мальчиков и 7 девочек. Один ученик находится на индивидуальном посещении,

слабо учатся 4 ученика, 11 учеников учатся на 4 и 5. Рассмотрев учеников 9б класса, было выявлено, что в классе 21 ученик.

Были проведены ключевые контрольные работы по каждой из пройденных тем. В 9а классе контрольная работа 1 по теме “Механическое движение” была проведена 29.09.2020. В 9а классе контрольная работа 2 по теме “Законы Ньютона” была проведена 22.10.2020. В 9а классе контрольная работа 3 по теме “Законы сохранения” была проведена 20.11.2020. На рис. 1 изображено распределение оценок по ключевым проверочным работам учеников 9а класса экспериментальной группы.

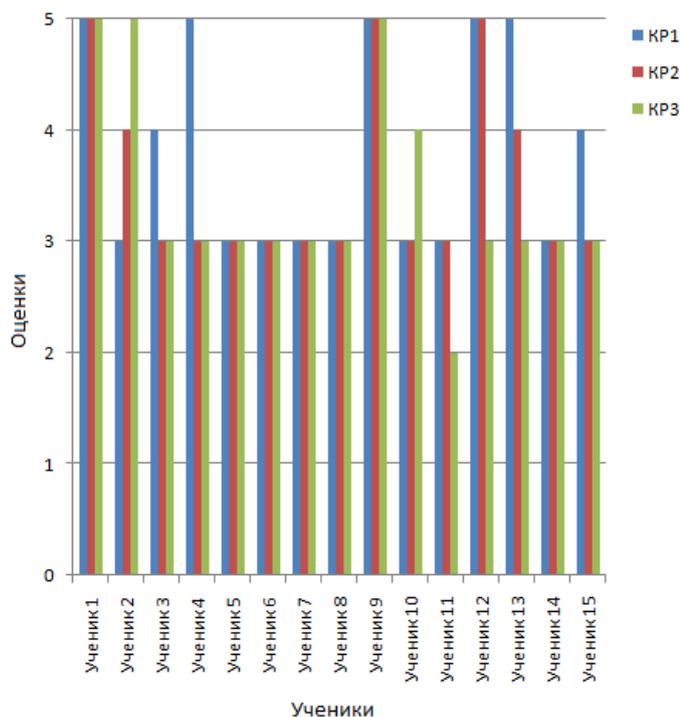


Рис. 1. Распределение оценок по ключевым проверочным работам учеников 9а класса экспериментальной группы.

В 9б классе контрольная работа 1 по теме “Механическое движение” была проведена 28.09.2020. В 9б классе контрольная работа 2 по теме “Законы Ньютона” была проведена 20.10.2020. В 9б классе контрольная работа 3 по теме “Законы сохранения” была проведена 20.11.2020. На рис. 2 изображено распределение оценок по ключевым проверочным работам учеников 9б класса экспериментальной группы. На рис. 3 представлено распределение количества оценок за первую контрольную работу по физике учеников 9а класса экспериментальной группы. На рис. 4 изображено распределение количества оценок за вторую контрольную работу по физике учеников 9а класса экспериментальной группы. На рис. 5 изображено распределение количества оценок за третью контрольную работу по физике учеников 9а класса экспериментальной группы.

Вычисление степени обученности учащихся 9а класса по результатам первой контрольной работы по теме “Механическое движение” даёт значение 61.1 %, что соответствует допустимому или конструктивному уровню степени обученности учащихся. Вычисление степени обученности учащихся 9а класса по результатам второй контрольной работы по теме “Законы Ньютона” даёт значение 52.5 %, что соответствует допустимому или конструктивному уровню степени обученности учащихся. Вычисление степени обученности учащихся 9а класса по результатам третьей контрольной работы по теме “Законы сохранения” даёт значение 49.3 %, что соответствует допустимому или конструктивному уровню степени обученности учащихся.

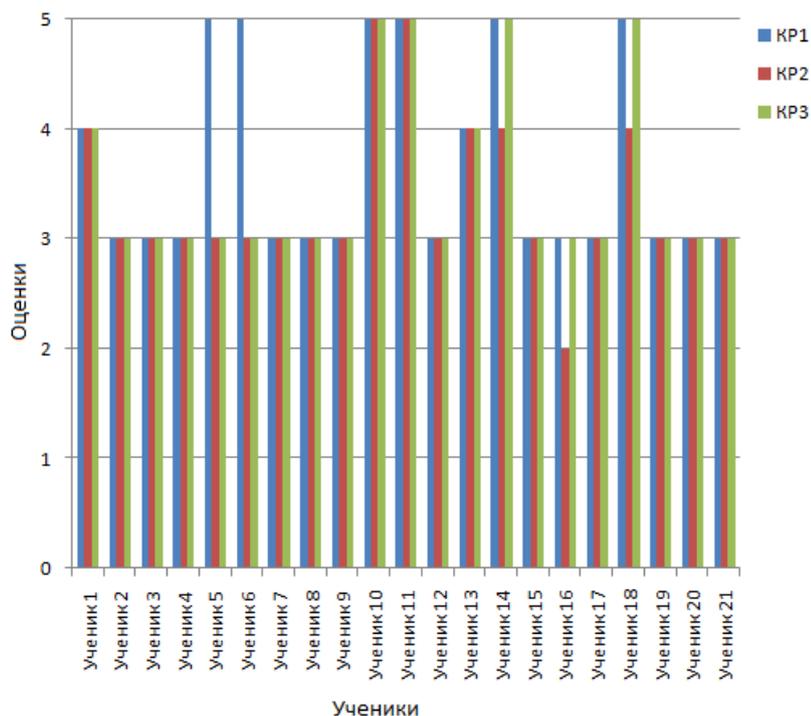


Рис. 2. Распределение оценок по ключевым проверочным работам учеников 9б класса экспериментальной группы.

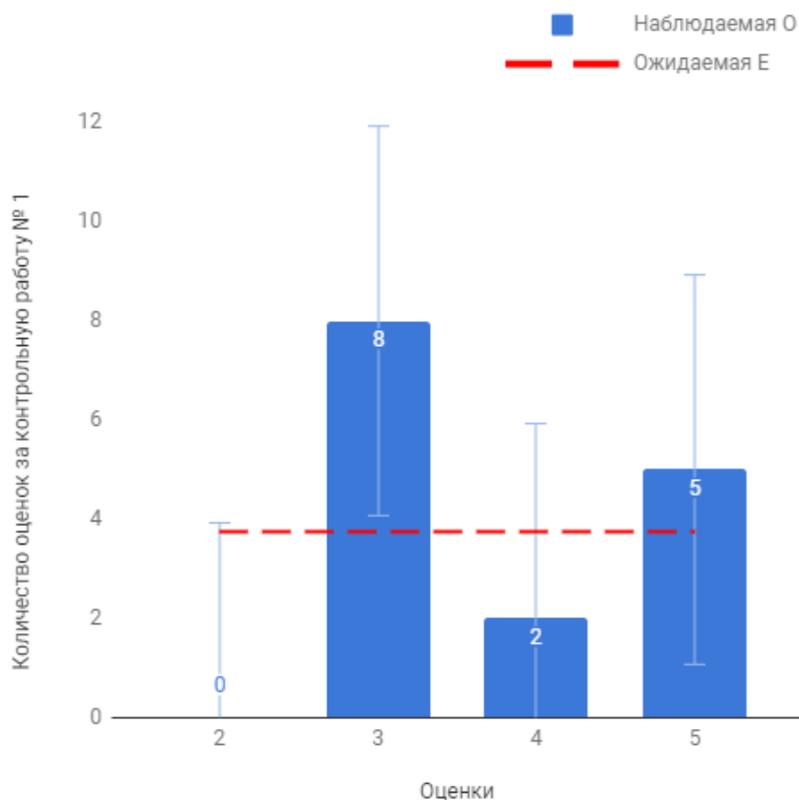


Рис. 3. Распределение количества оценок за первую контрольную работу по физике учеников 9а класса экспериментальной группы.

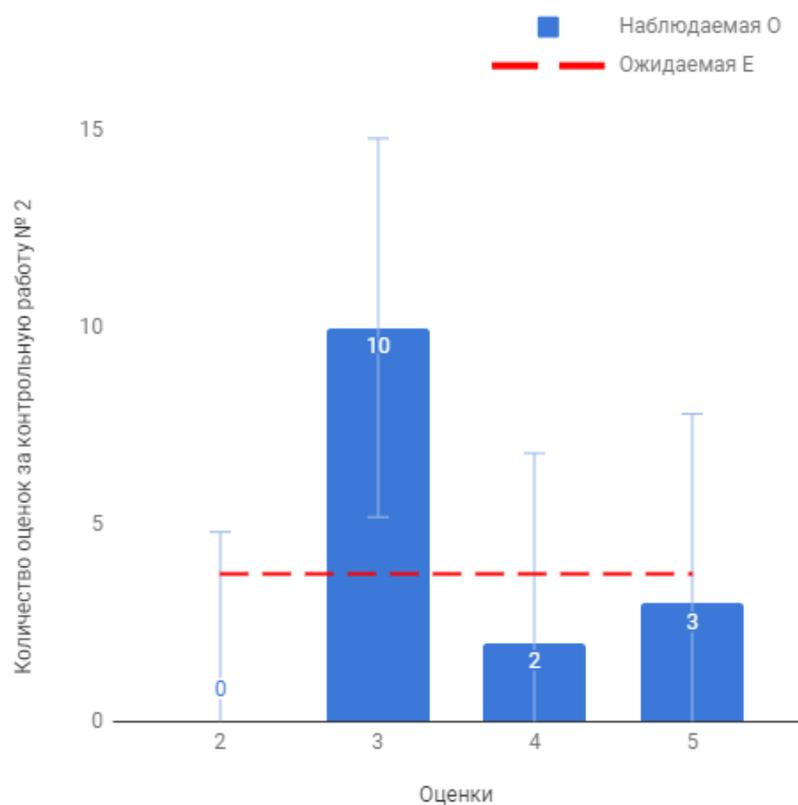


Рис. 4. Распределение количества оценок за вторую контрольную работу по физике учеников 9а класса экспериментальной группы.

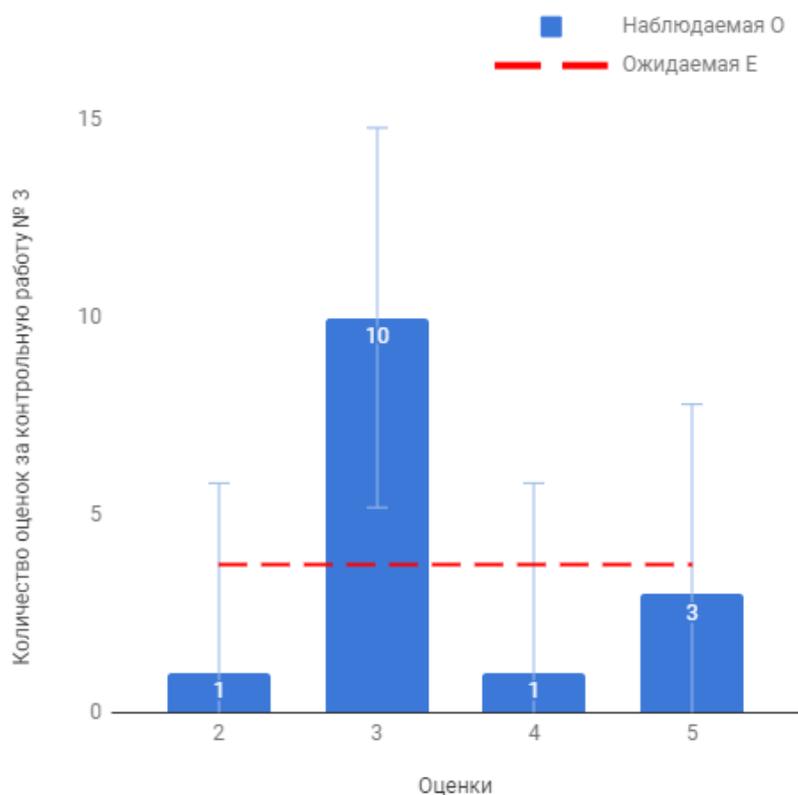


Рис. 5. Распределение количества оценок за третью контрольную работу по физике учеников 9а класса экспериментальной группы.

Для контрольной работы 1 по теме “Механическое движение” в 9а классе экспериментальное значение суммы хи-квадрат принимает значение 9.8, что больше критического значения хи-квадрат 9.5 при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы 4. Поэтому для контрольной работы 1 в 9а классе подтверждается экспериментальная гипотеза об эффективности авторской системы подготовки по физике 9 классе общеобразовательной школы в части темы, контролируемой контрольной работой 1 в 9 классе.

Для контрольной работы 2 по теме “Законы Ньютона” в 9а классе экспериментальное значение суммы хи-квадрат принимает значение 15.1, что больше критического значения хи-квадрат 9.5 при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы 4. Поэтому для контрольной работы 2 в 9а классе подтверждается экспериментальная гипотеза об эффективности авторской системы подготовки по физике 9 классе общеобразовательной школы в части темы, контролируемой контрольной работой 2 в 9 классе.

Для контрольной работы 3 по теме “Законы сохранения” в 9а классе экспериментальное значение суммы хи-квадрат принимает значение 14.6, что больше критического значения хи-квадрат 9.5 при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы 4. Поэтому для контрольной работы 3 в 9а классе подтверждается экспериментальная гипотеза об эффективности авторской системы подготовки по физике 9 классе общеобразовательной школы в части темы, контролируемой контрольной работой 3 в 9 классе.

Рассмотрим результаты педагогического эксперимента в 9б классе. В 9б классе 10 мальчиков и 11 девочек. Хорошо и отлично учатся только 6 человек. Оказалось, что класс очень слабый и не настроен на обучение физике. Поэтому предстояла задача узнать, почему у учеников такая низкая мотивация и стремление к учебе. Вследствие наблюдений и разговор с классом удалось узнать много информации, выявлено, многим не интересно учить физику, потому что она им не пригодится при поступлении в высшие учебные заведения и, следовательно, не важно, какая оценка будет по этому предмету. На рис. 6 изображено распределение количества оценок за первую контрольную работу по физике учеников 9б класса экспериментальной группы. На рис. 7 изображено распределение количества оценок за вторую контрольную работу по физике учеников 9б класса экспериментальной группы.

На рис. 8 изображено распределение количества оценок за третью контрольную работу по физике учеников 9б класса экспериментальной группы. Если сравнивать с 9а классом, то у 9а класса нет таких мыслей, они заинтересованы в хорошем аттестате, и им не важно, нужен ли этот предмет для поступления. В 9а классе более благополучные семьи, где имеются оба родителя.

Вычисление степени обученности учащихся 9б класса по результатам первой контрольной работы по теме “Механическое движение” даёт значение 56.9 %, что соответствует допустимому или конструктивному уровню степени обученности учащихся. Вычисление степени обученности учащихся 9б класса по результатам второй контрольной работы по теме “Законы Ньютона” даёт значение 46.5 %, что соответствует удовлетворительному или репродуктивному уровню степени обученности учащихся. Вычисление степени обученности учащихся 9б класса по результатам третьей контрольной работы по теме “Законы сохранения” даёт значение 50.9 %, что соответствует допустимому или конструктивному уровню степени обученности учащихся.

Для контрольной работы 1 по теме “Механическое движение” в 9б классе экспериментальное значение суммы хи-квадрат принимает значение 18.8, что больше критического значения хи-квадрат 9.5 при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы 4. Поэтому для контрольной работы 1 в 9б классе подтверждается экспериментальная гипотеза об эффективности авторской системы подготовки по физике 9 классе общеобразовательной школы в части темы, контролируемой контрольной работой 1 в 9 классе.

Для контрольной работы 2 по теме “Законы Ньютона” в 9б классе экспериментальное

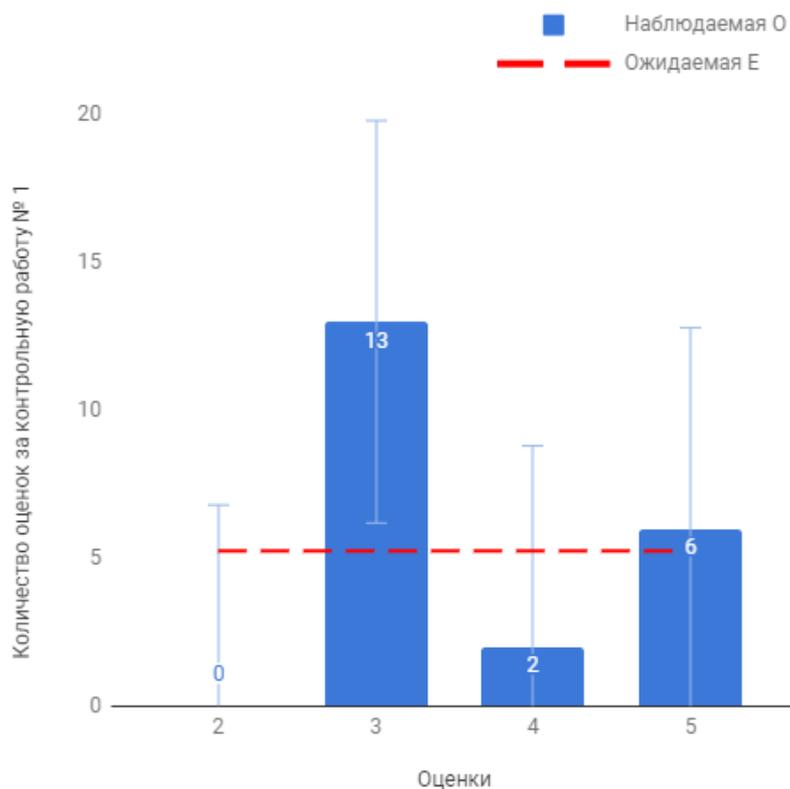


Рис. 6. Распределение количества оценок за первую контрольную работу по физике учеников 9б класса экспериментальной группы.

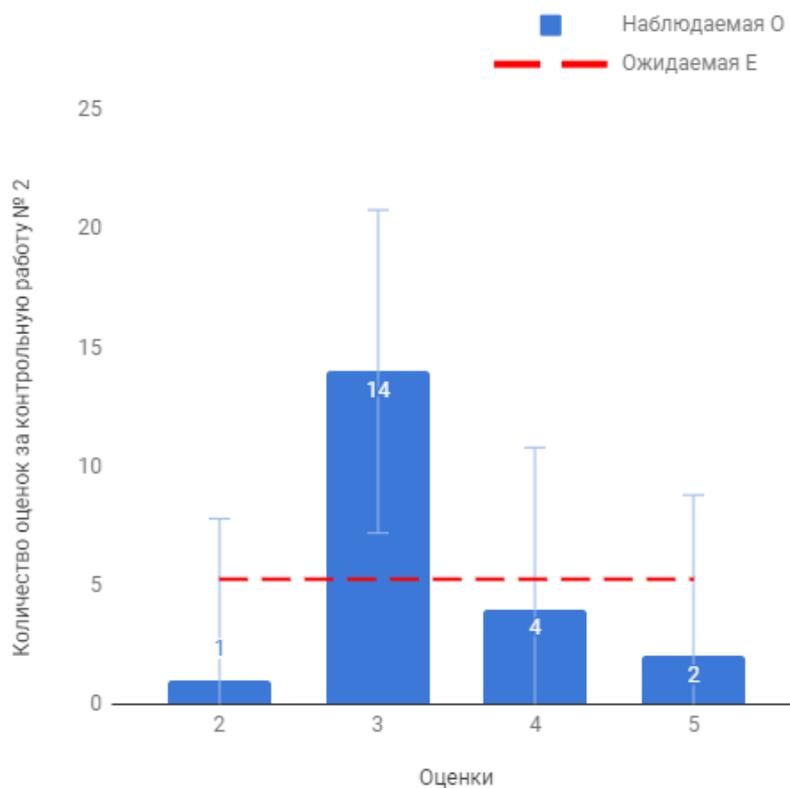


Рис. 7. Распределение количества оценок за вторую контрольную работу по физике учеников 9б класса экспериментальной группы.

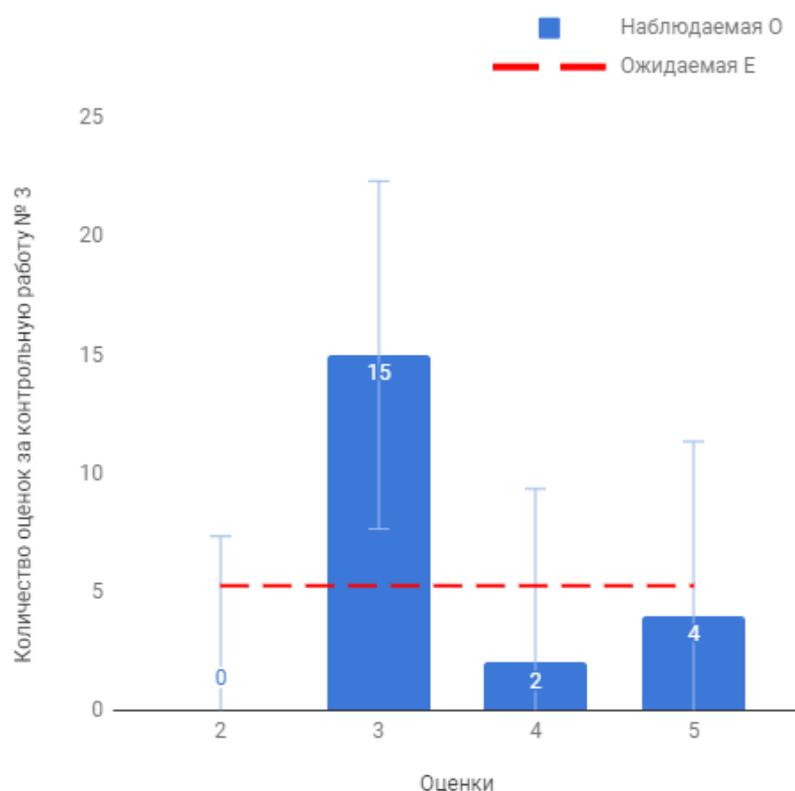


Рис. 8. Распределение количества оценок за третью контрольную работу по физике учеников 9б класса экспериментальной группы.

значение суммы хи-квадрат принимает значение 20.3, что больше критического значения хи-квадрат 9.5 при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы 4. Поэтому для контрольной работы 2 в 9б классе подтверждается экспериментальная гипотеза об эффективности авторской системы подготовки по физике 9 классе общеобразовательной школы в части темы, контролируемой контрольной работой 2 в 9 классе.

Для контрольной работы 3 по теме “Законы сохранения” в 9б классе экспериментальное значение суммы хи-квадрат принимает значение 25.7, что больше критического значения хи-квадрат 9.5 при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы 4. Поэтому для контрольной работы 3 в 9б классе подтверждается экспериментальная гипотеза об эффективности авторской системы подготовки по физике 9 классе общеобразовательной школы в части темы, контролируемой контрольной работой 3 в 9 классе.

Заключение

В процессе работы опробована авторская система подготовки по физике в девятих классах общеобразовательной школы, способствующая развитию познавательного интереса к физике. Использование дистанционных и смешанных технологий обучения физике позволяет активизировать визуальный канал восприятия учебной информации, разнообразить сам учебный материал, расширить формы и виды контроля учебной деятельности.

Разработанная информационная система поддержки системы подготовки по физике в девятих классах общеобразовательной школы может эффективно применяться в рамках использования смешанных и дистанционных технологий обучения физике. Результат разработки современной системы подготовки по физике в девятих классах общеобразовательной школы показывает оптимальность комбинации использования традиционных и компьютерных методов обучения и диагностики учащихся по физике в

девятым классам общеобразовательной школы. В ходе педагогического эксперимента по апробации системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы установлено, что степень обученности учащихся по трём ключевым контрольным работам по физике лежит преимущественно на допустимом уровне степени обученности учащихся. Соответствие результатов ключевых контрольных работ по физике допустимому и удовлетворительному уровням обученности подтверждает успешность первой реализации авторской системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы.

Поставленная в работе гипотеза исследования о том, что если развить учебную деятельность обучающихся с применением сбалансированной системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы, то это позволит успешно активизировать познавательную, творческую, поисковую деятельность учащихся на уроках физики в девятом классе и повысить качество обучения физике в девятом классе общеобразовательной школы, подтверждена полностью.

Преобразование гипотезы в концепцию системы подготовки по физике в общеобразовательной школе показало, что основная идея исследования о возможности развития теоретического мышления обучающихся на основе управления его познавательной деятельностью в соответствии с принципами методологически ориентированного обучения, нашла в результате проведённого исследования определённую реализацию.

Достоверность выводов определяется глубиной методологического обоснования, его согласованностью с теорией познания, анализом обширного материала, полученного в процессе теоретического и экспериментального исследования системы подготовки по физике в общеобразовательной школе, подтверждением основных положений исследования в ходе педагогического исследования, а также апробацией основных положений исследования в практике преподавания физики в девятом классе общеобразовательной школы.

В заключении следует отметить, что приемлемы любые достаточно подготовленные и проработанные системы подготовки по физике в девятом классе общеобразовательной школы, способствующие росту познавательного интереса у учащихся.

Список использованных источников

1. Кокин В. А. Система задач во внеклассной работе по развитию познавательного интереса и творческих способностей учащихся школы (на примере кружка) // В сборнике: Естественно-научное образование. Прошлое, настоящее, будущее. Материалы Всероссийской заочной интернет-конференции. — Самара : Поволжская государственная социально-гуманитарная академия, 2011. — С. 176–178.
2. Кокин В. А. Система задач по физике // Вестник Поволжской государственной социально-гуманитарной академии. — 2012. — № 7. — С. 272–278.
3. Кокин В. А., Макаров И. Необходимость применения системы качественных и экспериментальных задач по физике в профильной школе // В сборнике: Формирование учебных умений. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Ульяновск : Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова, 2009. — С. 129–129.
4. Алтунин К. К. Компьютерные технологии в физике: обобщение и систематизация опыта преподавания учебной дисциплины // Поволжский педагогический поиск. — 2018. — № 3 (25). — С. 96–107.

5. Алтунин К. К., Карташова А. А. Использование системы физических задач по блоку тем в старших классах общеобразовательной школы с углубленным изучением физики // В сборнике: Современные тренды непрерывного образования: методология и практика становления лицейских классов в пространстве университета. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией М. И. Лукьяновой, С. В. Данилова, В. А. Основиной. — Ульяновск : Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова, 2019. — С. 38–48.
6. Алтунин К. К., Карташова А. А. Разработка электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике // Наука online. — 2019. — № 2 (7). — С. 15–32. — URL: http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2019/07/nauka_online_7_1-16-33.pdf.
7. Алтунин К. К., Лушникова Ю. О. Использование системы олимпиадных задач по физике в десятом классе общеобразовательной школы // Поволжский педагогический поиск. — 2018. — № 2 (24). — С. 95–105.
8. Алтунин К. К., Лушникова Ю. О., Назарова Т. В. Электронный курс по олимпиадным задачам по физике // Наука online. — 2018. — № 2 (3). — С. 53–69.
9. Алтунин К. К., Хусаинова А. М. Разработка электронного образовательного ресурса по физике с использованием технологии перевёрнутого класса // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — 2018. — С. 10–14.
10. Тарасова Н. М., Петрова Р. И., Наумкин Н. И. Методика обучения учащихся решению экспериментальных задач по физике // Современные проблемы науки и образования. — 2019. — № 2. — С. 82–89.
11. Белый В. С. Оценка эффективности обучения студентов дисциплине “Физика” по результатам педагогического эксперимента // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. — 2016. — № 1 (8). — С. 188–221.
12. Белый В. С. Разработка методики проведения педагогического эксперимента по оценке эффективности обучения студентов дисциплине “Физика” // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. — 2015. — № 1 (6). — С. 213–230.
13. Кудряшов В. И. Организация экспериментальной работы по физике в рамках дополнительного образования школьников // Гуманитарные науки и образование. — 2019. — Т. 10, № 1 (37). — С. 103–107.
14. Бубликов С. В. Обучение решению экспериментальных задач по физике как средство интеллектуального развития учащихся. — Санкт-Петербург : Издательство РГПУ имени А. И. Герцена, 2007. — 84 с.
15. Никифоров Г. Г., Пентин А. Ю., Попова Г. М. Методика изучения физики в основной школе на базе естественнонаучного метода познания и самостоятельных экспериментальных исследований учащихся (на примере раздела “Электрические явления” 8 класс) // Физика в школе. — 2018. — № 8. — С. 3–12.
16. Усова А. В., Бобров А. А. Формирование у учащихся учебных умений. — Москва : Знание, 1987. — 78 с.

17. Усова А. В., Бобров А. А. Формирование у учащихся учебных умений и навыков учащихся на уроках физики. — Москва : Просвещение, 1988. — 122 с.
18. Усова А. В., Завьялов В. В. Воспитание учащихся в процессе обучения физике. — Москва : Просвещение, 1984. — 143 с.
19. Власова А. А. Подготовка учащихся девятого класса к ГИА по физике (эксперимент) в системе дополнительного образования при педагогическом вузе // Вестник Томского государственного педагогического университета. — 2014. — № 6 (147). — С. 117–122.
20. Масленникова Ю. В. Система преподавания физики в гимназии // Материалы научно-практической конференции «Университетский округ: образование инновационного потенциала образовательной системы региона». Часть 1. — Нижний Новгород : Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, 2010. — С. 258–265.
21. Масленникова Ю. В. Методологические подходы в обучении физике в средней школе (на примере изучения механики) / Педагог 3.0: Подготовка учителя для школы будущего. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. 23 марта 2016 года. — Нижний Новгород : Мининский университет, 2016. — С. 159–164.
22. Ильин И. В., Ильин В. В. Виды учебно-познавательной деятельности политехнической направленности и анализ практики их применения в курсе физики средней школы // Педагогическое образование в России. — 2018. — № 6. — С. 49–55.
23. Найдено Т. Ю. Зачётная система как технология, позволяющая помочь в подготовке учащихся к сдаче экзамена по физике в форме ГИА и ЕГЭ // В сборнике: Актуальные вопросы модернизации российского образования. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. Таганрог, 28 января 2014 года. Научный редактор Г. Ф. Гребенщиков. — Москва : Издательство: ООО «Издательство Спутник+», 2014. — С. 134–139.
24. Бабанский Ю. К. Оптимизация процесса обучения. Общедидактический аспект. — Москва : Педагогика, 1977. — 253 с.
25. Дуков В. М. Критерии оптимизации содержания и структуры учебника физики // Проблемы школьного учебника. — 1983. — № 12. — С. 29–42.
26. Сауров Ю. А. Принцип цикличности в методике преподавания физики: историко-методологический анализ. — Киров : Издательство КИПКИПРО, 2008. — 224 с.

Сведения об авторах:

Алеся Алексеевна Карташова — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: alesya_alekseevna@inbox.ru

ORCID iD  0000-0002-0093-9013

Web of Science ResearcherID  AAZ-8166-2020

Investigation of the training system in physics in the ninth grade of a comprehensive school

A. A. Kartashova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 28, 2020

Resubmitted December 2, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The features of the author's system of training in physics in the ninth grade of a comprehensive school are considered. The results of a pedagogical experiment on approbation of the training system in physics, associated with the implementation of a peculiarly designed process of teaching physics in the ninth grades of a general education school, are presented. A pedagogical experiment to test the system of training in physics in the ninth grades of a comprehensive school includes conducting pedagogical observations and measurements in controlled conditions, consistent with the tasks set for testing the system of training in physics in a comprehensive school. It is shown that the author's system of training in physics in the ninth grade of a comprehensive school contributes to the development of cognitive interest in physics.

Keywords: physics, training system, pedagogical experiment, learning technology, distance learning technology, comprehensive school

PACS: 01.40.d

References

1. Kokin V. A. System of tasks in extracurricular work to develop the cognitive interest and creative abilities of schoolchildren (by the example of a circle) // In the proceedings: Natural science education. Past present Future. Materials of the All-Russian correspondence Internet conference. — Samara : Volga State Social and Humanitarian Academy, 2011. — P. 176–178.
2. Kokin V. A. System of problems in physics // Bulletin of the Volga State Social and Humanitarian Academy. — 2012. — no. 7. — P. 272–278.
3. Kokin V. A., Makarov I. The need to apply a system of qualitative and experimental problems in physics in a specialized school // In the proceedings: Formation of educational skills. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — Ulyanovsk : Ulyanovsk State Pedagogical University, 2009. — P. 129–129.
4. Altunin K. K. Computer technologies in physics: generalization and systematization of the experience of teaching an academic discipline // Volga region pedagogical search. — 2018. — no. 3 (25). — P. 96–107.
5. Altunin K. K., Kartashova A. A. Using the system of physical problems for a block of topics in the senior grades of a comprehensive school with an in-depth study of physics // In the proceedings: Modern trends in lifelong education: methodology and practice of the formation of lyceum classes in the university space. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference. Under the general editorship of M. I. Lukyanova, S. V. Danilov, V. A. Osnovina. — Ulyanovsk : Ulyanovsk State Pedagogical University, 2019. — P. 38–48.

6. Altunin K. K., Kartashova A. A. Development of an electronic educational resource on solar energy // Science online. — 2019. — no. 2 (7). — P. 15–32. — URL: http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2019/07/nauka_online_7_1-16-33.pdf.
7. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O. Using the system of Olympiad problems in physics in the tenth grade of a secondary school // Volga region pedagogical search. — 2018. — no. 2 (24). — P. 95–105.
8. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O., Nazarova T. V. Electronic course on Olympiad problems in physics // Science online. — 2018. — no. 2 (3). — P. 53–69.
9. Altunin K. K., Khusainova A. M. Development of an electronic educational resource in physics using the technology of an inverted class // In the proceedings: Topical issues of teaching technical disciplines Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — 2018. — P. 10–14.
10. Tarasova N. M., Petrova R. I., Naumkin N. I. Methods of teaching students to solve experimental problems in physics // Modern problems of science and education. — 2019. — no. 2. — P. 82–89.
11. Bely V. S. Evaluation of the effectiveness of teaching students the discipline “Physics” according to the results of the pedagogical experiment // Complex problems of development of science, education and economy of the region. — 2016. — no. 1 (8). — P. 188–221.
12. Bely V. S. Development of a methodology for conducting a pedagogical experiment to assess the effectiveness of teaching students the discipline “Physics” // Complex problems of development of science, education and economy of the region. — 2015. — no. 1 (6). — P. 213–230.
13. Kudryashov V. I. Organization of experimental work in physics within the framework of additional education for schoolchildren // Humanities and education. — 2019. — Vol. 10, no. 1 (37). — P. 103–107.
14. Bublikov S. V. Teaching the solution of experimental problems in physics as a means of intellectual development of students. — St. Petersburg : Publishing House of the Russian State Pedagogical University named after A. I. Herzen, 2007. — 84 p.
15. Nikiforov G. G., Pentin A. Yu., Popova G. M. Methods of studying physics in basic school based on the natural science method of cognition and independent experimental research of students (for example, the section “Electrical phenomena”, grade 8) // Physics at school. — 2018. — no. 8. — P. 3–12.
16. Usova A. V., Bobrov A. A. Formation of educational skills in students. — Moscow : Knowledge, 1987. — 78 p.
17. Usova A. V., Bobrov A. A. Formation of educational skills of students in physics lessons. — Moscow : Education, 1988. — 122 p.
18. Usova A. V., Zavyalov V. V. Education of students in the process of teaching physics. — Moscow : Education, 1984. — 143 p.
19. Vlasova A. A. Preparation of ninth grade students for the State Academy of Arts in Physics (experiment) in the system of additional education at a pedagogical university // Bulletin of Tomsk State Pedagogical University. — 2014. — no. 6 (147). — P. 117–122.

20. Maslennikov Yu. V. The system of teaching physics in the gymnasium // Materials of the scientific-practical conference «University district: the formation of the innovative potential of the educational system of the region». Part 1. — Nizhny Novgorod : Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University, 2010. — P. 258–265.
21. Maslennikov Yu. V. Methodological approaches to teaching physics in secondary school (on the example of studying mechanics) / Teacher 3.0: Preparing a teacher for the school of the future. Collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific-practical conference. March 23, 2016. — Nizhny Novgorod : Minin University, 2016. — P. 159–164.
22. Ilyin I. V., Ilyin V. V. Types of educational and cognitive activities of a polytechnic orientation and analysis of the practice of their application in the course of physics in high school // Pedagogical education in Russia. — 2018. — no. 6. — P. 49–55.
23. Naydenko T. Yu. The credit system as a technology that helps prepare students for passing the physics exam in the form of the GIA and the Unified State Exam // In the proceedings: Topical issues of modernization of Russian education. Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference. Taganrog, January 28, 2014. Scientific editor G. F. Grebenshchikov. — Moscow : Publisher: OOO Sputnik+ Publishing House, 2014. — P. 134–139.
24. Babansky Yu. K. Optimization of the learning process. General didactic aspect. — Moscow : Pedagogy, 1977. — 253 p.
25. Dukov B. M. Criteria for optimizing the content and structure of a physics textbook // Schoolbook Problems. — 1983. — no. 12. — P. 29–42.
26. Saurov Yu. A. The principle of cyclicity in the teaching of physics: historical and methodological analysis. — Kirov : Publisher KIPKiPRO, 2008. — 224 p.

Information about authors:

Alesya Alekseevna Kartashova — Master's student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: alesya_alekseevna@inbox.ru

ORCID iD  0000-0002-0093-9013

Web of Science ResearcherID  AAZ-8166-2020

УДК 378.147
ББК 74.489
ГРНТИ 14.35.19
ВАК 13.00.02

Исследование научно-методических основ деятельности кружка по нанотехнологии и наноплазмоники в университете

О. В. Тырлышкина  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071,
Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 16 ноября 2020 года
После переработки 23 ноября 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассматриваются теоретические и методические проблемы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники. Проведён всесторонний анализ системы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники на старших курсах бакалавриата педагогического университета. Проведено описание развития и результатов деятельности кружка по нанотехнологиям и наноплазмоники в педагогическом университете. Проанализированы результаты деятельности и публикационной активности участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоники в университете за период с 2014 по 2020 годы.

Ключевые слова: кружковое движение, система проектных работ по нанотехнологии, нанотехнология, наноплазмоника, наноструктура, наноптика, наноплётка, наноконформит, наноматериал, поверхностный плазмон-поляритон, биосенсор, электромагнитная волна, колебания, световая волна, полное внутреннее отражение, плазмонный резонанс

Введение

В настоящей работе рассматриваются теоретические и методические проблемы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники. Проанализированы результаты деятельности и публикационной активности участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоники в университете.

Целью работы является исследование системы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники. Задачей работы является исследование методических аспектов системы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники на примере нескольких лет деятельности кружка.

Объектом исследования являются процесс обучения физико-техническим основам нанотехнологии и наноплазмоники в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники в педагогическом университете.

¹E-mail: olya.t1308@gmail.com

Предметом исследования является процесс формирования умения написания и защиты квалификационных работ по физике в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете.

Гипотеза исследования заключается в том, что если осуществлять кружковую деятельность по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете, то можно повысить уровень знаний по нанотехнологии и интерес студентов к тематике.

В качестве метода исследования используется наблюдение в ходе педагогического эксперимента за результатами деятельности кружка по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете.

В качестве материалов исследования используются материалы годовых отчётов о научно-исследовательской работе и научно-исследовательской работе студентов кафедры физики и технических дисциплин с 2014 года по 2020 год.

В настоящее время технологические кружки становятся одним из ключевых элементов зарождающейся системы работы с молодым поколением. Кружки как форма объединения единомышленников, желающих изучать физические основы нанотехнологии, пробовать свои силы в фундаментальной и прикладной физике, — это необходимая часть обучения для поддержания интереса студентов к творчеству, а также для осознанного выбора и самоопределения молодежи. В свою очередь, данный вид занятий не только обучает, но и производит новейшие решения современных фундаментальных и прикладных проблем в области нанотехнологий и наноплазмоники, ведь каждый участник кружка стремится создать что-то нужное для других людей.

Обзор

Уже несколько десятков лет интенсивно развиваются нанотехнологии для получения различных наночастиц, приборов и устройств, созданных на основе наночастиц. Нанотехнологии являются новым направлением науки и техники, которое активно развивается в настоящее время. Направление исследования нанотехнологий включает в себя создание и использование материалов, устройств, работа которых определяется наноструктурой. Практически невозможно перечислить все области, в которых эта глобальная технология может существенно повлиять на технический прогресс. Приведём пример лишь некоторых из этих областей: элементы нанoeлектроники, нанофотоники, нанолитографии, наноимпринтинга; телекоммуникационные, информационные и вычислительные технологии. Нанотехнология позволяет контролировать размер частиц и, таким образом, улучшать свойства материала. Миниатюризация схем приводит к созданию новейших объектов. Последние достижения в области нанотехнологий позволяют изготавливать оптические метаматериалы, принося им уникальные и необычные свойства. Однако аналитическое описание оптических наноплазмонных метаматериалов является сложной задачей из-за характерных оптических свойств металлов.

Наноплазмоне представляет собой область нанооптики, изучающая оптические свойства и физические явления, возникающие в результате колебаний электронов в металлических наночастицах, наноструктурах и наносистемах, а также взаимодействие этих колебаний со световыми волнами в различных наносистемах [1–3].

Наноплазмоне имеет дело с локализованными поверхностными плазмонными резонансами в металлических наночастицах, металл-диэлектрических наноструктурах и планарных границах раздела металл-диэлектрик, является быстро развивающейся областью и в последнее время интенсивно исследуется из-за фундаментальных интересов и многочисленных потенциальных приложений. Плазмонные технологии изготовления оптоэлектронных устройств могут заменить традиционные технологии, используемые в современных компьютерах и других вычислительных технологиях [4].

Плазмоны представляют собой квазичастицы, которые вводятся для теоретического

описания в рамках одночастичной модели физики твёрдого тела для описания колебаний свободных электронов в металлических средах. При возбуждении объёмных плазмонов в металлических средах возникает плазмонный резонанс, который был впервые предсказан Ми в начале двадцатого века. При возбуждении объёмных плазмонов в металлических наноструктурах возникает размерный плазмонный резонанс, который является проявлением квантовой локализации движения плазмонов. В результате оценочного расчёта для наночастицы серебра сферической формы, обладающей диаметром 50 нм, установлено, что длина волны плазмонного резонанса приближённо равно 400 нм. Поэтому наличие металлических наночастиц в нанокompозитных материалах можно регистрировать далеко за границами дифракционного предела при длине волны излучения много больше размеров металлической наночастицы. В наноплазмонике возможно передавать оптическое излучение вдоль цепочки металлических наночастиц с помощью возбуждения плазмонных колебаний в нанокompозитных структурах.

Плазмонные наносистемы предоставили возможность макроскопического исследования эффектов, которые, как правило, ограничены микроскопической областью, позволяя явления, выходящие за рамки классической электродинамики. Вместе с постоянным развитием нанотехнологического производства и методов измерения это сделало наноплазмонику центром растущего числа новых и революционных приложений в медицине, обработке информации, сборе энергии и зондировании. Таким образом, за последнее десятилетие были предприняты огромные усилия по моделированию и экспериментальному исследованию нелокальных, нелинейных и квантово-оптических эффектов, вытеснив плазмонику на неизведанную территорию.

Исследование плазмон-поляритонов на границе раздела с нанокompозитами является перспективным направлением исследования для приложений в медицине. Широкое распространение получили наноматериалы, частицы которых нацелены на доставку лекарств и полезных веществ к клеткам органов, а также на создание мышц и костей. Так же большую роль играют в энергомашиностроении, авиационной и даже космической промышленности. Представляет значительный практический интерес использование поверхностных плазмонов-поляритонов для разработки модуляторов света и биосенсоров. При совпадении частоты внешнего поля с частотой локализованного поверхностного плазмона возникает резонанс, приводящий к резкому усилению поля на поверхности частицы и увеличению сечения поглощения. Разработка эффективных и перестраиваемых (по энергии фотонов и направленности поляризации) наноразмерных излучателей света является главной задачей для нанофотоники и наноплазмоники. Поле плазмонных метаматериалов унаследовало бесценное наследие от атомной физики для интерпретации нетривиальных форм спектральных линий [5, 6]. Плазмонные устройства представляют ценные платформы для широкого спектра новых схем для молекулярного детектирования. Среди таких приложений весьма перспективными являются биосенсоры [7], особенно с точки зрения технологий изготовления оптоэлектронных чипов. Идея создания биосенсора существует уже несколько десятков лет. Впервые эту идею выдвинули Кларк и Лионс в 1967 году. Идея Кларка включала в себя использование ферментного электрода, то есть электрохимического датчика с иммобилизованным на его поверхности ферментом. За прошедшие года, вплоть до нашего времени, эта идея получила достаточное, в какой-то степени большое развитие, так как именно в настоящее время развитие данной области науки стремительно прорывается вперёд. Работа устройства биосенсора заключается в анализе биологических жидкостей. За очень короткий промежуток времени оборудование эффективно и быстро перерабатывает и считывает живые клетки количественно определяя концентрацию того или иного соединения. Так же имеет большое практическое значение для разработок в оптической спектроскопии, нелинейной оптике, микроскопии высокого разрешения [4, 8].

Описание деятельности кружка

Область нанотехнологий и наноплазмоники является актуальной для изучения, поскольку наноструктуры, наноплёнки и нанокompозиты занимают одно из главных мест из материалов, на которые возложен взгляд в будущее, и применяются уже сейчас в большинстве отраслей промышленности, а главное в таких сферах человеческой деятельности, как медицина, электроника, военное дело. Оптические эффекты плазмон-поляритонов, эффекты их взаимодействия и возбуждения, уже применяются в новых приборах, следует только догадываться, к каким совершенствам это может привести в будущем. Кружок является одним из наиболее распространенных видов групповой внеклассной деятельности, который даёт преподавателю возможность использовать разнообразные формы и методы работы со студентами. Поэтому работа кружка по нанотехнологиям и наноплазмонике в педагогическом университете была признана необходимой для успешного выполнения курсовых и квалификационных работ студентами, специализирующимися в физике. Задумываясь о прикладной значимости темы, в первую очередь, нужно сказать о том, что большинство результатов, разработанных студентами, будут пригодны для дальнейшего практического использования, ведь вся теория, преподнесённая преподавателями, должна быть проверена и точна.

Занятия в кружках осуществляются по подгруппам. Занятие в кружке по нанотехнологиям и наноплазмонике являются полноценной формой работы студентов, помогающей научиться сотрудничать и повышать свой уровень фундаментальных и прикладных знаний в области физических основ нанотехнологий и наноплазмоники.

В ходе работы кружка преподаватель регулирует порядок работы кружка, контролирует результаты деятельности студентов, отвечает на вопросы, и в экстренных случаях оказывать помощь отдельным студентам или подгруппе студентов в целом. Возбуждение интереса к нанотехнологиям осуществляется через наглядное представление материалов по нанотехнологиям и возможность численного исследования новых закономерностей мира наноструктур и наносистем.

В первой половине первого семестра изучаются основы физики наноструктур и наноплазмоники. Во второй половине первого семестра изучаются основы синтаксиса языков программирования и пакетов прикладных программ, необходимые для численных расчётов физических величин наноплазмоники и построения графиков функциональных зависимостей.

В первой половине второго семестра осуществляется компьютерное моделирование физических процессов в наноплазмонных системах с помощью изученных ранее языков программирования и пакетов прикладных программ. Во второй половине второго семестра осуществляется анализ полученных численных результатов в результате компьютерного моделирования физических процессов в наноплазмонных системах с помощью языков программирования и пакетов прикладных программ. Во второй половине второго семестра завершается написание курсовых работ и квалификационных работ по физике.

На стадии целеполагания осуществляется постановка цели курсовой или квалификационной работы по физике на основе соотнесения того, что уже известно и усвоено из курсов общей физики и теоретической физики, с тем, что ещё не известно из выбранной узкой темы в области нанотехнологий и наноплазмоники. На стадии целеполагания с помощью численных экспериментов исследовать физические свойства объектов и процесс протекания физических явлений в наноплазмонных структурах.

На стадии классификации осуществляется написание обзора литературы по наноплазмонным системам, производится выбор оснований и критериев для сравнения различных моделей для описания наноплазмонных систем. На стадии классификации необходимо дать определения всем необходимым понятиям наноплазмоники.

На стадии выдвижения и обоснования гипотез осуществляется сравнение фактов в области наноплазмоники, установление причинно-следственных связей между моделями и величинами наноплазмоники, построение логической цепи рассуждений для решения основных уравнений наноплазмоники, анализ теорий и моделей наноплазмоники, синтез подходов к описанию наноплазмонных систем. На стадии выдвижения и обоснования гипотез формируется умение организовывать исследование с целью проверки гипотез, объяснять физические явления, физические процессы в наноплазмонных системах, аргументировано делать умозаключения.

На стадии планирования осуществляется определение последовательности действий студента с учётом конечного результата курсовой работы или квалификационной работы по физике. На стадии планирования производится расчёт зависимостей физических величин, определяющих характеристики наноплазмонной системы. Рассчитываются физические величины для описания наноплазмонной системы в результате теоретического и численного анализа известных физических формул наноплазмоники.

На стадии прогнозирования осуществляется предвосхищение результата, который может быть получен в результате численного моделирования наноплазмонных систем посредством управления переменными величинами. На стадии прогнозирования осуществляется поиск пар физических величин, характеризующих наноплазмонную систему, между которыми может быть функциональная зависимость.

На стадии моделирования осуществляется преобразование физического объекта в математическую модель, где выделены существенные характеристики наноплазмонной системы. На стадии моделирования необходимо создавать и преобразовывать модели и схемы для решения задач описания наноплазмонных систем.

На стадии структурирования осуществляется поиск необходимой информации по теоретическому описанию и компьютерным моделям наноплазмонных систем. На стадии структурирования необходимо методов информационного поиска теоретической информации для описания наноплазмонных систем. На стадии структурирования формируется умение адекватно, подробно, сжато и выборочно передавать содержание текста.

На стадии контроля осуществляется сличение результатов численных расчётов физических характеристик наноплазмонных систем с экспериментальными результатами и результатами других расчётов с целью обнаружения отклонений результатов от эталонных данных. На стадии контроля необходимо интерпретировать теоретические и экспериментальные данные по наноплазмонным системам, в том числе раскрыть значение и физический смысл данных и результатов расчётов физических характеристик наноплазмонных систем, сделать теоретические выводы на основе физических законов наноплазмоники и оптики наноструктур, произвести оценку полученных результатов.

На стадии коррекции осуществляется внесение дополнений и корректив в план исследований и способ моделирования физических явлений в наноплазмонных системах, в случае расхождения с эталоном. На стадии коррекции можно предложить альтернативный способ расчёта физической величины или численного исследования физического явления в наноплазмонных системах.

На стадии оценки осуществляется выделение и осознание того, что уже усвоено по исследуемой наноплазмонной системе с тем, что ещё подлежит усвоению. На стадии оценки нужно сделать заключения на основе достигнутых результатов моделирования наноплазмонных систем, систематизации и классификации полученных результатов расчётов физических характеристик наноплазмонных систем. На стадии оценки выделяются физические явления и факты, подлежащие дальнейшему исследованию.

Педагогический эксперимент

В ходе педагогического эксперимента проводилось наблюдение за деятельностью кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне на кафедре физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова». Состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне составляют студенты старших курсов бакалавриата и магистратуры педагогического направления подготовки, специализирующиеся в области физики. Занятия кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне проводятся по 2 часа в неделю за исключением каникул. Занятия кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне дополняют имеющиеся аудиторные занятия по нанотехнологиям и наноплазмоне в рамках дисциплин по выбору. Занятия кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне дополнялись заседаниями научно-методического семинара кафедры физики и технических дисциплин, где обсуждались результаты курсовых и квалификационных работ студентов бакалавриата, заслушивались доклады студентов очной магистратуры и аспирантов.

Проанализируем результаты деятельности кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне за 2014-2021 годы. В 2014 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 8 человек, которые опубликовали 18 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2015 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 10 человек, которые опубликовали 2 научные работы в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2016 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 27 человек, которые опубликовали 8 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2017 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 26 человек, которые опубликовали 19 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2018 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 24 человека, которые опубликовали 31 научную работу в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2019 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 21 человек, которые опубликовали 23 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2019 году один участник кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне опубликовал статью в журнале «Радиоэлектронная техника». В 2020 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 35 человек, которые опубликовали 6 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. Основные публикации составляли публикации в материалах Всероссийских конференций и региональных конференций по физике и электронике, которые представлены на сайте Научной электронной библиотеки elibrary.ru. Участники кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне активно участвовали во внутривузовских конференциях, проводимых в рамках недели науки на факультете физико-математического и технологического образования.

Результаты теоретической части работ участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне докладывались на конференции «Современные проблемы электродинамики наноструктурных сред и наноплазмоники» 6 апреля 2019 года, на конференции «Наноплазмоника и фотовольтаика» 10 апреля 2019 года в рамках недели науки на факультете физико-математического и технологического образования.

Результаты научно-методической части работ участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне докладывались на конференции «Современные достижения науки и педагогической практики в системе высшего и среднего образования» 29 октября 2019 года.

Результаты теоретической и самостоятельной части работ участников кружка по

нанотехнологиям и наноплазмоне докладывались на научной школе-семинаре “Актуальные проблемы физики и астрономии” 12-17 октября 2020 года, на конференции “Фундаментальные и прикладные проблемы нанотехнологий” 12-17 ноября 2020 года в рамках недель науки на факультете физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова».

Для работы с нанотехнологической тематикой студенты должны обладать значительным запасом фундаментальных знаний по физике и наноэлектронике. Ориентируясь на известные теоретические и численные методы классической, нелинейной и квантовой оптики для сплошных и нанокompозитных сред из наноплазмонных материалов, в какой-то степени, обрабатывая опыт прошлых лет, дорабатывая уже имеющиеся выводы, теории, можно разработать множество проектов для усовершенствования и увеличения количества применений наноматериалов в обычной жизни. Так как разработка, реализация, проверка таких проектов на работоспособность требует больших затрат, предлагается использование языков программирования Python, R, Octave, C, D. Данные языки программирования позволяют осуществлять численные расчёты характеристик физических процессов в наноструктурах и наносистемах.

Заключение

В кружке по нанотехнологиям и наноплазмоне реализуется интенсивное развитие личности студента за счёт организации активной познавательной деятельности в области нанотехнологий и наноэлектроники путём развития символического и предметного мышления. Познание законов мира наносистем происходит в процессе активной познавательной деятельности студентов в рамках взаимодействия на занятиях кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне. Численные эксперименты по расчёту характеристик физических явлений предлагается студентам выполнять самостоятельно по заданию преподавателя, а затем обсуждать результаты на занятиях кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне. Успешному изучению физических основ нанотехнологий и наноплазмоники способствует участие в беседах и спорах при обсуждении результатов численных экспериментов по расчёту характеристик физических явлений в наноструктурах и наносистемах.

Все приобретённые знания, умения и навыки исследовательской деятельности в области физики и нанотехнологии получают дальнейшее развитие в профессиональной деятельности выпускников при разработке проектов в разных областях профессиональной деятельности.

Все участники кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне успешно защищали курсовые работы по физике, курсовые работы по методике преподавания физики и выпускные квалификационные работы по физике.

Гипотеза исследования, заключающаяся в том, что если осуществлять кружковую деятельность по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете, то можно повысить уровень знаний по нанотехнологии и интерес студентов к тематике, подтверждена полностью.

Кружковое движение помогает решить задачу формирования в стране следующих поколений инженеров, учёных, предпринимателей с высоким уровнем профессионализма, способных разрабатывать и реализовывать новые научно-технологические проекты, ведущих их к высоким прикладным результатам и направленные на развитие нанотехнологий.

Исследования по тематике, связанной с нанотехнологиями, дадут огромный толчок для самоопределения студентов, и в будущем, реализуя проекты, они смогут внести свой вклад в развитие нанотехнологической промышленности.

Список использованных источников

1. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Под ред. В. М. Аграновича, Д. Л. Миллса. — Москва : Наука, 1985. — 525 с.
2. Климов В. В. Наноплазмоника. — Москва : Физматлит, 2010. — 479 с.
3. Андрианов Е. С., Виноградов А. П., Дорофеев А. В. Квантовая наноплазмоника : учебное пособие. — Долгопрудный : Интеллект, 2015. — 368 с.
4. Аракелян С. М., Кучерик А. О., Прокошев В. Г. Введение в фемтонаноплазмонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие. — Москва : Логос, 2020. — 744 с.
5. Майер С. А. Плазмоника: теория и приложения. — Москва-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. — 277 с.
6. Астапенко В. А. Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоника и метаматериалы : учебное пособие. — Долгопрудный : Интеллект, 2012. — 584 с.
7. Сидоров А. И. Сенсорная фотоника : учебное пособие. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. — 99 с.
8. Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики. — Москва : Физматлит, 2009. — 484 с.

Сведения об авторах:

Ольга Владимировна Тырлышкина — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: olya.t1308@gmail.com

ORCID iD  0000-0002-2738-242X

Web of Science ResearcherID  AAZ-9000-2020

Investigation of the scientific and methodological foundations of the activities of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the university

O. V. Tyrlyshkina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 16, 2020

Resubmitted November 23, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The theoretical and methodological problems of nanotechnological training at the Pedagogical University in the framework of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics are considered. A comprehensive analysis of the system of nanotechnological training at the Pedagogical University in the framework of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the senior undergraduate courses of the Ulyanovsk State Pedagogical University has been carried out. The description of the development and results of the activities of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the Pedagogical University is carried out. The results of the activity and publication activity of the participants of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the university for the period from 2014 to 2020 are analyzed.

Keywords: circle movement, system of design work on nanotechnology, nanotechnology, nanoplasmonics, nanostructure, nanoptics, nanofilm, nanocomposite, nanomaterial, surface plasmon-polariton, biosensor, electromagnetic wave, oscillations, light wave, total internal reflection, plasmon resonance

PACS: 01.40.d

References

1. Novotny L., Hecht B. Fundamentals of nano-optics. — Moscow : Fizmatlit, 2009. — 484 p.
2. Klimov B. V. Nanoplasmonics. — Moscow : Fizmatlit, 2010. — 479 p.
3. Agranovich V. M., Mills D. L. Surface polaritons: electromagnetic waves at surfaces and interfaces. — North-Holland, Amsterdam : Elsevier Science Ltd, 1982. — 734 p.
4. Mayer C. A. Plasmonics: theory and applications. — Moscow-Izhevsk : SIC “Regular and chaotic dynamics”, 2011. — 277 p.
5. Sidorov A. I. Sensory photonics: a tutorial. — St. Petersburg : ITMO University, 2019. — 99 p.
6. Astapenko B. A. Electromagnetic processes in a medium, nanoplasmonics and metamaterials: a tutorial. — Dolgoprudny : Intellect, 2012. — 584 p.
7. Andrianov E. S., Vinogradov A. P., Dorofeenko A. V. Quantum nanoplasmonics: a tutorial. — Dolgoprudny : Intellect, 2015. — 368 p.
8. Arakelyan C. M., Kucherik A. O., Prokoshev V. G. Introduction to femtonanophotonics: fundamentals and laser methods of controlled production and diagnostics of nanostructured materials: a study guide. — Moscow : Logos, 2020. — 744 p.

Information about authors:

Olga Vladimirovna Tyrlyshkina – student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: olya.t1308@gmail.com

ORCID iD  0000-0002-2738-242X

Web of Science ResearcherID  AAZ-9000-2020

УДК 373.5
ББК 74.262.0
ГРНТИ 14.25.09
ВАК 13.00.02

Исследование активизации познавательной деятельности учащихся школы на уроке физики с помощью игровых технологий обучения

Е. А. Купреянова ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 30 ноября 2020 года

После переработки 3 декабря 2020 года

Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Описан результат проведения мероприятия «Народное творчество глазами физики» в форме игры на уроке физики. Мероприятие «Народное творчество глазами физики» находится на стыке физики и литературы. Мероприятие «Народное творчество глазами физики» способствует активизации познавательной деятельности учащихся десятого класса. В итоге проведения мероприятия с учащимися десятого класса отмечена активизация познавательной деятельности учащихся в результате использования игровых технологий обучения физике.

Ключевые слова: технологии обучения, игровые технологии, познавательная деятельность, физика, урок физики, система подготовки, школа

Введение

Проблема развития учебно-познавательной деятельности учащихся в общеобразовательной школе является одной из актуальных проблем, так как активность учебно-познавательной деятельности является необходимым условием формирования умственных качеств школьников. Учебная деятельность по физике является источником для развития предметного и символического мышления, целенаправленной работы мысли, развития жизненно важных свойств личности и активности ученика.

Перед современной школой в области физико-математического образования стоит задача формирования системы прочных знаний и умений по физике, развития познавательных способностей по физике и технике. Ключевыми особенностями системы подготовки по физике в основной школе является процесс формирования системы физических понятий, учебно-познавательных умений, развития творческих способностей учащихся, формирование межпредметных связей физики с другими учебными предметами старшей школы.

Игровые технологии сейчас очень популярны в образовании, но в очень дозированном виде. Игровые технологии вносят новые тенденции в развитие теории и методики обучения физики в старшей школе.

¹E-mail: kupreyanova.zhenechka@mail.ru

Целью работы является исследование возможности активизации познавательной деятельности учащихся старшей школы на уроке физики с помощью игровых технологий обучения.

Задачей работы является исследование возможности активизации познавательной деятельности учащихся старшей школы на мероприятии «Народное творчество глазами физики» в форме игры на уроке физики, находящееся на стыке физики и литературы; возможности использования некоторых источников формирования учебно-познавательной деятельности учащихся по физике и технике с помощью игровых технологий обучения физике; возможности формирования личностных качеств учащихся десятого класса в общении и совместной деятельности на мероприятии «Народное творчество глазами физики» в форме игры на уроке физики.

Объектом исследования является урок физики в старшей школе в игровой форме. Предметом исследования является процесс проведения мероприятия «Народное творчество глазами физики» на уроке физики в старшей школе с использованием игровых технологий обучения физике.

В качестве основных способов развития познавательного интереса к физике используются лабораторные работы по физике и демонстрации по физике. Например, привлечение учащихся старших классов к исследовательской работе по физике активизирует учебно-познавательную деятельность учащихся.

Гипотеза исследования состоит в выяснении того, как связано развитие познавательного интереса по физике в старшей школе с использованием игр на уроках и внеклассных мероприятиях по физике.

В качестве метода исследования используется педагогический эксперимент по активизации познавательной деятельности учащихся старшей школы с помощью игровых технологий обучения физике.

Базой исследования является Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение Гимназия № 33, расположенная по адресу: город Ульяновск, улица Западный бульвар, дом 12.

Обзор

Использование игровой технологии на уроках физики для создания ситуации педагогического общения через игровую деятельность, для формирования у учащихся учебных умений в процессе игры, для обучения школьников поиску нужной информации и практическому применению знаний, умений и навыков в различных, в том числе нестандартных ситуациях описано в работе [1].

В работе [2] описаны перспективы применения игровых технологий при обучении физике в насыщенной информационными компьютерными технологиями образовательной среде. В статье [3] показаны разработки механики и динамики игровых компонентов, а также рассмотрены компетенции, которые получают студенты при изучении разделов дисциплины в виде игровых компонентов. В результате разработки будут представлены некоторые шаблоны игр, которые можно использовать в различных модулях одной дисциплины либо разных дисциплин, варьируя наборы заданий. В статье [4] рассматривается способ использования материала политехнического содержания в виде игры-соревнования для учащихся старших классов при изучении школьного курса физики, который будет полезен учителям физики в вопросе организации обобщающего занятия после изучения законов кинематики и динамики, а также может быть использован для подготовки внеклассных мероприятий. В статье [5] рассмотрены требования к применению игровых технологий, формы дидактических игр и игровых приёмов на уроках физики с целью поэтапного развития познавательного интереса школьников. В работе [6] описаны дидактические игры, которые используются для активизации по-

знавательного интереса учащихся, повышения эмоционального уровня усвоения знаний, как на уроках, так и внеклассных занятиях часто используются игровые технологии. Игра приучает учащихся мыслить, выделять главное, обобщать, развивать память, способности. Для решения этих учебно-воспитательных задач при обучении физики могут быть использованы дидактические игры. Желание играть, стремление к деятельности, основывающейся на способности воображения свойственны любому обучающемуся. В работе [7] рассмотрены особенности формирования интереса в обучении. В статье [8] рассмотрено внедрение игровых приёмов работы на уроках физики с помощью компьютерных технологий, а также разработаны игры для учащихся 7-11 классов по основным темам школьного курса физики, прослежена реакция учеников на проверку их знаний по физике с помощью игр. В статье [9] описан опыт использования интерактивных игровых технологий на уроках информатики и физики, а также описаны элементы интерактивных игр по физике и информатике. В работе [10] описана методика использования технических средств обучения. В статье [11] рассмотрено использование игровых технологий в опережающем курсе физики, использование экспериментальных задач и заданий в игровой деятельности учащихся.

Проблема активизации учебно-познавательной деятельности учащихся общеобразовательной школы на уроках физики рассматривалась в работах [12–15].

Педагогический эксперимент

Одним из способов решения проблемы активизации учебно-познавательной деятельности учащихся старшей школы на уроках физики может стать использование игровых технологий на уроках физики. Самостоятельная работа каждого ученика в ходе игровой формы деятельности на уроке физики является эффективным средством формирования у учащихся основной школы обобщённых умений и навыков в области физики и техники.

Игру как метод обучения, передачи опыта старших поколений младшим люди использовали с древности. Физика как школьный предмет имеет широкие возможности для применения игр в процессе обучения. Специфика предмета позволяет использовать практически все виды игр, в любом школьном курсе начиная от 7 класса и заканчивая 11 классом профильного уровня.

Форм урока-игры достаточно много на сегодняшний день. Во-первых, форма урока-игры в виде урока-путешествия в историю физики, посвящённого рассказам про учёных-физиков. Во-вторых, форма урока-игры в виде коллективного создания мультимедийных презентаций с обсуждением содержания презентации в игровой форме. В-третьих, форма урока-игры в виде командного решения занимательных задач по физике. В-четвёртых, форма урока-игры в виде командного решения количественных задач по физике с использованием принципа соревнований. В-пятых, форма урока-игры в виде интеллектуальных игр по физике с элементами командных соревнований. При подготовке к уроку в форме интеллектуальной игры формируется умение самостоятельной работы с учебной и дополнительной литературой по физике и технике, основанное на структурно-логическом анализе содержания физики, что позволяет выделить в качестве общих основных взаимосвязанных структурных элементов знаний научные факты, понятия, законы и теории физики. При подготовке урока-игры учителю достаточно выбрать и адаптировать материал по физике для понимания школьниками.

Современная электронная техника помогает так же поддерживать познавательный интерес к изучению физики. Существующие электронные учебники предлагают моделирование физических явлений и процессов, разнообразные интерактивные задания и упражнения с возможностью проверки ответов и работы над ошибками; видеофрагменты и анимации с демонстрацией экспериментов по физике; высококачественные фото-

графии и иллюстрации физических явлений; мультимедийные презентации к урокам нового знания по физике.

В качестве экспериментальной группы для апробации игровых технологий в физике был выбран 10 В класс МБОУ Гимназия № 33, который был естественнонаучного профиля подготовки. Педагогический эксперимент проводился в ноябре 2020 года. Численность учеников 10 В класса составляет 27 человек. Школьники 10 В класса изучают на углубленном уровне биологию. Физика изучается школьниками 10 В класса на базовом уровне подготовки. Школьников 10 В класса экспериментальной группы было крайне сложно заинтересовать стандартными уроками по физике, поэтому было принято решение провести мероприятие «Народное творчество глазами физики» в форме игры на уроке физики, находящееся на стыке двух предметов: физики и литературы. Для вывода заданий в ходе урока в игровой форме использовался мультимедиа проектор с интерактивной доской, имеющейся в кабинете. В процессе проведения мероприятия в форме игры на уроке физики использовалась схема воспитания у учащихся увлечения физикой, состоящая из трёх стадий: на первой стадии реализован переход от любопытства к удивлению, на второй стадии реализован переход от удивления к активной любознательности и стремлению узнать новые сведения по физике и технике, на третьей стадии реализован переход к прочным знаниям по физике и научному поиску информации по физике и технике. В итоге мероприятия учащиеся 10 В класса сделали вывод о том, что физика не так далека от гуманитарных предметов, как им казалось до проведения урока в форме игры. В итоге проведения мероприятия с учащимися 10 В класса отмечена активизация познавательной деятельности учащихся в результате использования игровых технологий обучения физике.

Заключение

В любой игре заложены одновременно огромные воспитательные и образовательные возможности. Игра развивает наблюдательность и способность различать отдельные свойства предметов, выявлять их существенные признаки.

В результате проведения мероприятия «Народное творчество глазами физики» в форме игры на уроке физики удалось добиться формирования учебной мотивации к физике в рамках школьной программы, осмысления практической значимости физики. Развитие учебно-познавательных способностей учащихся экспериментального класса реализовано с применением различных приёмов активизации учебно-познавательной деятельности. Интерес к физике осознаётся учащимися раньше, чем другие мотивы изучения физики, им они чаще руководствуются в своей учебно-познавательной деятельности, интерес для учащихся более значим, и поэтому является действенным, реальным мотивом изучения физики.

Использование игровых технологий на уроках физики в старшей школе помогает укрепить межпредметные связи с различными предметами. Важно развивать уже имеющиеся знания и методики с использованием межпредметных связей физики с другими учебными предметами старшей школы и при этом создавать новые технологии и методики обучения физике в старшей школе.

Гипотеза исследования, состоящая в выяснении того, как связано развитие познавательного интереса по физике в старшей школе с использованием игр на уроках и внеклассных мероприятиях, подтверждена полностью.

Таким образом, учебно-познавательные игры по физике оказывают большое влияние на умственное развитие школьников, совершенствуя их естественнонаучное мышление, внимание, творческие способности в области физики и техники.

Список использованных источников

1. Рязанова Н. М. Использование игровых технологий при обучении физике // Вестник научных конференций. — 2016. — № 11-5. — С. 142–144.
2. Акуленко В. Л. Перспективы применения игровых технологий при обучении физике в насыщенной информационными компьютерными технологиями образовательной среде // Учёные записки ИИО РАО. — 2004. — № 15. — С. 69–76.
3. Замятина О. М., Мозгалева П. И., Юруткина Т. Ю. Применение игровых технологий в модулях “Физика” и “Математика” // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2015. — Т. 15. — С. 46–50.
4. Ермакова Е. В., Фоменко О. И. Применение политехнического материала в игровых технологиях при изучении физики // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2019. — Т. 3. — С. 17–22.
5. Сарапулова И. Е., Мерзлякова О. П. Использование игровых технологий на уроках физики с целью развития познавательного интереса школьников // В сборнике: Методика преподавания математических и естественнонаучных дисциплин: современные проблемы и тенденции развития. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Ответственный редактор А. А. Романова. — Омск : Издательство: Омский государственный университет имени Ф. М. Достоевского, 2018. — С. 186–189.
6. Верещагина Е. П. Игровые технологии на уроках физики как средство активизации познавательного интереса учащихся // В сборнике: Преподаватель года 2020. Сборник статей Международного научно-методического конкурса. В 2-х частях. — Петрозаводск : Издательство: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2020. — С. 124–131.
7. Щукина Г. И. Актуальные вопросы формирования интереса в обучении : учебное пособие. — Москва : Просвещение, 1984. — 176 с.
8. Семенюк Е. С., Поспелова Г. Б. Внедрение игровых приёмов работы на уроках физики с помощью компьютерных технологий // Современное образование: содержание, технологии, качество. — 2017. — Т. 1. — С. 217–219.
9. Гильфанова Ю. И. Применение интерактивных игровых технологий на уроках физики и информатики // В сборнике: Интернет-технологии в образовании. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Ответственный редактор Н. В. Софронова. — Чебоксары : Издательство: Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева, 2019. — С. 128–134.
10. Коджаспирова Г. М. Технические средства обучения и методика их использования : учебное пособие для учеников высших педагогических учебных заведений. — Москва : Издательский центр “Академия”, 2001. — 256 с.
11. Кудинов В. В. Учебные игры // Физика. Первое сентября. — 2010. — № 14. — С. 41–42.
12. Усова А. В. Проблемы современной системы школьного образования // Мир науки, культуры, образования. — 2011. — № 4 (29). — С. 10–11.

13. Усова А. В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. — Москва : Педагогика, 1986. — 173 с.
14. Усова А. В. Психолого-дидактические основы формирования у учащихся научных понятий: учебное пособие. — Ч. 1. — Челябинск : Челябинский пединститут, 1978. — 99 с.
15. Усова А. В. Психолого-дидактические основы формирования у учащихся научных понятий: учебное пособие. — Ч. 2. — Челябинск : Челябинский пединститут, 1979. — 86 с.

Сведения об авторах:

Евгения Александровна Купреянова — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: kupreyanova.zhenechka@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-9848-1273

Web of Science ResearcherID  AAZ-8152-2020

Investigation of intensification of the cognitive activity of schoolchildren in a physics lesson with the help of game learning technologies

E. A. Kupreyanova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 30, 2020

Resubmitted December 3, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The result of the event “Folk art through the eyes of physics” in the form of a game at a physics lesson is described. The event “Folk Art through the Eyes of Physics” is at the intersection of physics and literature. The event “Folk Art through the Eyes of Physics” promotes the activation of the cognitive activity of tenth grade students. As a result of the event with the students of the tenth grade, the activation of the cognitive activity of the students was noted as a result of the use of game technologies for teaching physics.

Keywords: learning technology, game technology, cognitive activity, physics, physics lesson, training system, school

PACS: 01.40.d

References

1. Ryazanova N. M. Use of game technologies in teaching physics // Bulletin of scientific conferences. — 2016. — no. 11-5. — P. 142–144.
2. Akulenko B. L. Prospects for the use of gaming technologies in teaching physics in an educational environment saturated with information computer technologies // Scientific notes of the IIO RAO. — 2004. — no. 15. — P. 69–76.
3. Zamyatina O. M., Mozgaleva P. I., Yurutkina T. Yu. Application of game technologies in the modules “Physics” and “Mathematics” // Scientific and methodological electronic journal “Concept”. — 2015. — Vol. 15. — P. 46–50.
4. Ermakova E. V., Fomenko O. I. Application of polytechnic material in game technologies in the study of physics // Scientific and methodological electronic journal “Concept”. — 2019. — Vol. 3. — P. 17–22.
5. Sarapulova I. E., Merzlyakova O. P. The use of gaming technologies in physics lessons in order to develop the cognitive interest of schoolchildren // In the collection: Methods of teaching mathematical and natural science disciplines: modern problems and development trends. Materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference. Executive Editor A. A. Romanova. — Omsk : Publisher: F. M. Dostoevsky Omsk State University, 2018. — P. 186–189.
6. Vereshchagin E. P. Game technologies in physics lessons as a means of enhancing the cognitive interest of students // In the collection: Teacher of the Year 2020. Collection of articles of the International Scientific and Methodological Competition. In 2 parts. — Petrozavodsk : Publisher: International Center for Scientific Partnership “New Science”, 2020. — P. 124–131.

7. Shchukin G. I. Topical issues of the formation of interest in learning: a tutorial. — Moscow : Education, 1984. — 176 p.
8. Semenyuk E. S., Pospelova G.B. Implementation of game techniques in physics lessons using computer technology // Modern education: content, technology, quality. — 2017. — Vol. 1. — P. 217–219.
9. Gilfanova Yu. I. Application of interactive gaming technologies in physics and computer science lessons // In the collection: Internet technologies in education. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference. Responsible editor N. V. Sofronova. — Cheboksary : Publisher: Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, 2019. — P. 128–134.
10. Kodzhaspirova G. M. Technical teaching aids and methods of their use: a textbook for students of higher pedagogical educational institutions. — Moscow : Publishing Center “Academy”, 2001. — 256 p.
11. Kudinov B. V. Educational games // Physics. First of September. — 2010. — no. 14. — P. 41–42.
12. Usova A. V. Problems of the modern school education system // The world of science, culture, education. — 2011. — no. 4 (29). — P. 10–11.
13. Usova A. V. Formation of scientific concepts in schoolchildren in the learning process. — Moscow : Pedagogy, 1986. — 173 p.
14. Usova A. V. Psychological and didactic foundations of the formation of students’ scientific concepts: a textbook. - Part 1. — Chelyabinsk : Chelyabinsk Pedagogical Institute, 1978. — 99 p.
15. Usova A. V. Psychological and didactic foundations of the formation of students’ scientific concepts: a textbook. - Part 2. — Chelyabinsk : Chelyabinsk Pedagogical Institute, 1979. — 86 p.

Information about authors:

Evgeniya Aleksandrovna Kupreyanova — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kupreyanova.zhenechka@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-9848-1273

Web of Science ResearcherID  AAZ-8152-2020

Секция 2

Физико-математические науки

УДК 524.3
ББК 22.66
ГРНТИ 41.23.02
ВАК 01.03.02

Современные тенденции развития астрофизики нейтронных звёзд

Е. С. Кузьмина  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 15 октября 2020 года

После переработки 29 октября 2020 года

Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассмотрены основные характеристики нейтронной звезды, такие как строение, свойства. Приведены физические характеристики нейтронных звёзд. Произведен анализ физических характеристик нейтронных звёзд. Выявлены основные направления развития астрофизики нейтронных звёзд.

Ключевые слова: нейтронная звезда, компактные звездные объекты, классы нейтронных звёзд, пульсары, магнитарый радиопульсар, магнитное поле, вращающиеся нейтронные звёзды, рентгеновские пульсары

Введение

Астрофизика компактных звёздных объектов является стремительно развивающейся областью современной науки. В режиме реального времени обнаруживаются новые экспериментальные данные, новые астрофизические наблюдения, открываются новые, ранее не изученные астрофизические объекты. Особый интерес в современной астрофизике представляют компактные звёздные объекты [1–3]. Кроме того, изучение компактных звёздных объектов оказывает влияние и на другие области современной физики. В нейтронных звёздах происходят все четыре типа фундаментальных взаимодействий.

¹E-mail: nelizavetakuzm@gmail.com

Нейтронная звезда представляет собой космическое тело, являющееся одним из результатов эволюции звёзд, состоящее в основном из нейтронов.

Целью работы является описание астрофизических явлений в нейтронных звёздах. Задачей работы является описание основных характеристик нейтронных звёзд.

Объектом исследования являются нейтронные звёзды.

Предметом исследования являются астрофизические характеристики нейтронных звёзд.

Обзор исследований нейтронных звёзд

Идея существования нейтронных звезд была предложена ещё в 1934 году Вальтером Бааде и Фрицом Цвикки. Они предположили, что существуют объекты с очень высокой плотностью и малыми радиусами, у которых гравитационная связь выражена сильнее, чем у обычных звезд. Также учёные высказали мысль, что нейтронные звезды образуются в результате взрыва сверхновых. Первые вычисления моделей нейтронных звезд были сделаны Оппенгеймером и Волковым, которые предположили, что вещество должно состоять из идеального газа свободных нейтронов с высокой плотностью. Большинство работ основывалось на той идее, что нейтронные ядра нормальных массивных звезд являются источниками звездной энергии. Но от этой мысли пришлось отказаться, когда стали понятны процессы термоядерного синтеза. Интерес к нейтронным звездам увеличился после Второй Мировой войны, когда начала развиваться рентгеновская астрономия. Однако они были открыты в радиоастрономических наблюдениях. Аспирантка Джослин Белл, под научным руководством Энтони Хьюиша, изучая радиоимпульсы, обнаружила, что есть строго периодический источник с очень маленьким периодом в доли секунды. Затем учёными были также выявлены периодические импульсы. Стало ясно, что существует источник со строго малой периодичностью. Астрофизики пришли к выводу, что это нейтронные звезды. До этого так же были открыты нейтронные звезды, но они не были распознаны, так как объект не пульсировал. Открытие в 1968 году пульсаров в Крабовидной туманности и в созвездии Парусов, которые расположены в остатках сверхновых, послужило свидетельством того, что нейтронные звезды образуются в результате взрыва сверхновых. Оптические и рентгеновские наблюдения за рентгеновскими источниками, входящих в двойные системы, позволили определить массы нейтронных звезд с высокой точностью.

Теоретические материалы по нейтронным звёздам

В большинстве случаев нейтронные звезды образуются в результате коллапса ядер массивных звезд с массой больше 8–10 массы Солнца. Коллапс ядра массивной звезды сопровождается вспышкой сверхновой. Энергия, освобождаемая при этом по порядку величины, совпадает с гравитационной энергией связи нейтронной звезды:

$$\Delta E_g \approx \frac{GM_{NS}^2}{R_{NS}} \sim 0.1M_{NS}c^2 \approx a_1 \frac{M_{NS}}{M_{\odot}}, \quad (1)$$

где $a_1 = 10^{53}$ эрг. Особенное свойство нейтронных звезд — сверхвысокая плотность, порядка ядерной ($\rho_0 \approx 2.8 \cdot 10^{14}$ г/см³). Однако, в отличие от атомного ядра, в котором нуклоны удерживаются благодаря сильному взаимодействию между кварками, в нейтронной звезде удерживаются гравитационными силами. Внутри нейтронных звезд вырожденные нейтроны не распадаются: из-за высокой плотности β -распад нейтрона запрещён принципом Паули, так как образующемуся электрону нет места в фазовом пространстве координат и импульсов из-за сильного вырождения вещества.

Из наблюдений следует, что нейтронные звезды обладают сверхсильным магнитным полем. Из-за «вмороженности» магнитного поля в плазму, при сжатии вещества

сохраняется поток магнитного поля, а его плотность, соответственно увеличится. Поток магнитного поля при сжатии вещества вычисляется по формуле:

$$\Phi \approx BR^2 = const . \quad (2)$$

Так при сжатии звезды типа Солнца со средней напряженностью $B_0 \sim 1$ Гс, до размеров нейтронной звезды с радиусом в 10 км, получаем $B_{NS} \sim 5 \cdot 10^{11}$ Гс. Такие значения подтверждаются наблюдениями за радиопульсарами.

Многие нейтронные звезды входят в состав двойных систем. В тесных двойных системах наблюдаются аномальные явления: при перетекании вещества с сильным магнитным полем наблюдается феномен рентгеновского пульсара. Если магнитное поле не такое большое, меньше 10^{10} Гс, то вещество на поверхности накапливается и может произойти термоядерный взрыв. Эти взрывы наблюдаются в виде регулярных рентгеновских барстеров. В отличие от белых карликов, продукты вспышек образуют расширяющуюся атмосферу, которая не отделяется от звезды в виде оболочки, а вновь сжимается. Причина – в тысячу раз больший гравитационный потенциал, который на порядок больше удельной энергии, выделяемой при термоядерном синтезе.

Для пульсара Халса-Тейлора (PSR 1913+16), входящего в двойную систему, из радиоизмерений получена лишь одна функция масс. Другой компонент представляет собой какой-то компактный объект и непосредственно не наблюдается. Однако высокая точность наблюдений за пульсаром в сочетании с относительно высокой орбитальной скоростью позволили выполнить измерения релятивистского смещения периастра и доплеровского сдвига второго порядка. Они дали ещё два соотношения. Наилучшие значения масс пульсара и его компаньона таковы:

$$M_{pulsar} = 1.41 \pm 0.06 M_{\odot} . \quad (3)$$

Рассмотренные определения масс приводят к некоторым важным заключениям. Во-первых, современные результаты наблюдений совместимы со стандартными теориями гравитации и адронного вещества. Хотя данные ещё недостаточно точны, но уже позволяют исключить из рассмотрения некоторые мягкие модели уравнений. Во-вторых, все современные определения масс нейтронных звезд совместимы с предположениями теории звездной эволюции (вырожденные ядра всех проэволюционировавших звезд должны иметь массы порядка Чандрасекара – $1.4M_{\odot}$).

Прямых измерений радиусов нейронных звезд не существует. Его можно оценить по максимальной рентгеновской совместимости рентгеновских барстеров, предполагая её равной эддингтоновскому пределу и наблюдаемой эффективной температуре ($L_x = 4\pi R^2 \sigma_B T_{\text{eff}}^4$); неопределённость в расстоянии до источника не позволяет непосредственно оценить L_x из наблюдений. В принципе её можно вычислить, зная массу нейтронной звезды, но в маломассивных рентгеновских системах с барстерами массы нейтронных звезд определяются не очень точно.

Другой способ определения радиуса – по наблюдению гравитационного красного смещения z_g линий излучения вблизи поверхности нейтронной звезды:

$$z_g = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R_g}{R}}} , \quad (4)$$

$$R_g = 2 \frac{GM}{c^2} . \quad (5)$$

где R_g – гравитационный радиус нейтронной звезды с массой M . Поэтому радиусы, выводимые из современных наблюдений недостаточно точны и лежат в пределах 10–15 км.

В отличие от масс, которые в двойных пульсарах измеряются по релятивистским эффектам с рекордной точностью, внутреннее строение нейтронных звезд, особенно их центральная часть, известно с большой неопределенностью из-за отсутствия данных о свойствах вещества в сверхплотном состоянии.

Наиболее хорошо изученным классом нейтронных звезд являются пульсары. Это вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем.

Перечислим основные свойства пульсаров. Во-первых, для пульсаров характерны короткие периоды пульсаций: 0.0015-8 с. Из этого значения можно сразу оценить нижний предел плотности вещества нейтронных звезд. Предельный период вращения может быть найден из условия равенства центробежной силы на экваторе силе притяжения.

$$P_{im} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}. \quad (6)$$

Тогда оценка плотности по наблюдаемому периоду вращения по формуле

$$\rho < \frac{12\pi}{P^2G}. \quad (7)$$

даст значение $\rho < 6 \cdot 10^{12}$.

Предельно короткие наблюдаемые периоды вращения радиопульсаров (около 1.5 мс) соответствует ядерной плотности вещества $\sim 10^{14}$ г/см³.

Во-вторых, для пульсаров характерно замедление пульсаций. Замедление пульсаров происходит с темпом:

$$\frac{dP}{dt} \sim 10^{-15}. \quad (8)$$

Это свойство интерпретируется как торможение вращения нейтронной звезды.

Вращательная энергия нейтронной звезды уносится главным образом потоком релятивистских частиц, вырываемых с поверхности сильнейшим электрическим полем в области полярных шапок.

Во-третьих, для пульсаров характерна задержка времени прихода импульсов на разных частотах. Этот эффект связан с распространением радиоизлучения в ионизированной космической плазме (мера дисперсии). Измеряя задержку времени прихода импульсов пульсара на разных частотах и оценивая из других наблюдений электронную концентрацию межзвездной среды (в среднем по галактике $n_e = 0.03$ см⁻³), по величине меры дисперсии оценивают расстояния до пульсаров. Это наиболее распространенный способ определения расстояния до нейтронной звезды. Точность данной оценки невелика, так как плохо известно распределение концентрации ионизированной плазмы вдоль луча зрения.

Во-четвертых, для пульсаров характерна огромная яркостная температура и поляризация радиоизлучения. Если источник виден под телесным углом Ω , а принимаемый от него поток излучения на частоте ν есть F_ν [эрг/(см²·с)], то яркостная температура T_b в рэлей-джинсовском пределе определяется из соотношения:

$$2kT_b \left(\frac{\nu}{c}\right)^2 = F_\nu \Omega, \quad (9)$$

$$\Omega \approx \pi \frac{R_*}{r}, \quad (10)$$

r – расстояние до источника, R_* – его радиус.

Например, для пульсара в Крабовидной туманности с радиусом в 10 км, расстоянием 2 кпс, радиопотоке 1 Янский на частоте порядка 1 ГГц яркостная температура получается 10^{26} К. Очевидно, что ни одно тело не может иметь такую температуру. Для

объяснения радиоизлучения пульсаров привлекаются нетепловые механизмы. Наиболее вероятен плазменный механизм излучения релятивистских электронов в магнитном поле нейтронных звезд, который также объясняет сильную поляризацию радиоизлучения пульсаров.

У пульсаров так же большая напряжённость магнитного поля. Оценить напряжённость можно измеряя только период пульсара и его первую производную:

$$P\dot{P} = (2\pi)^2 \frac{B_s^2 R^6}{Ic^3} . \quad (11)$$

где P – период пульсара, \dot{P} – первая производная периода, B_s – напряжённость магнитного поля вблизи нейтронной звезды. В таком сверхсильном магнитном поле изменяются свойства вещества и становятся существенными квантовые эффекты, например – рождение электрон-позитронных пар, которые важны для описания физических процессов вблизи поверхности нейтронной звезды. Для пульсаров удобно использовать диаграмму $P - \dot{P}$ [4, 5]. Местоположение радиопульсаров в плоскости период – производная периода ($P - \dot{P}$) было ключевым диагностическим инструментом с первых дней пульсарной астрономии. Особенно важно то, как пульсары со временем эволюционируют по диаграмме $P - \dot{P}$ [4]. Оценки магнитных полей пульсаров лежат в широких пределах от $\sim 10^8$ до $\sim 10^{13}$ Гс. Зная период и его первую производную можно также оценить возраст пульсара:

$$\tau_d = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{\dot{P}} \right) . \quad (12)$$

Это время называют динамическим возрастом пульсара. Типичные значения динамических возрастов – сотни тысяч лет. Пульсар считается старым, если его возраст $\approx 10^6$ лет. Как полагают, на больших временных интервалах (порядка десятка миллионов лет) существенным может оказаться омическое затухание магнитного поля (переход энергии магнитного поля в тепло). Электродинамическое рассмотрение вращающейся нейтронной звезды с дипольным магнитным полем приводит к выводу, что в области полярных шапок возникает компонента электрического поля, параллельная силовым линиям магнитного поля. Напряжённость электрического поля пропорциональна произведению индукции магнитного поля и частоты вращения и достигает значений, на два порядка выше напряжённости поля в атоме водорода. Такое электрическое поле ионизирует атомы и вырывает заряженные частицы с поверхности нейтронной звезды. Максимальная энергия, до которой заряд может ускориться в магнитосфере огромна:

$$E_{max} \sim eER_{NS} , \quad (13)$$

и численная оценка даёт значение порядка 10^{19} эВ и соответствует энергии самых энергичных космических лучей. В действительности, процесс более сложен: заряд начинает ускоряться под действием электрического поля вдоль силовых линий магнитного поля. Вследствие кривизны силовой линии появляется ускорение, приводящее к излучению энергичных гамма-квантов. Фотон рождает электрон-позитронную пару. В свою очередь, вторичные электроны вновь рождаются фотоны изгибного излучения. Так возникает электрон-позитронная лавина. Генерируемая таким образом плазма экранирует электрическое поле и заполняет пространство внутри замкнутых силовых линий, а та часть, которая течёт вдоль незамкнутых, то есть открытых линий, уходит в бесконечность. Именно в кинетическую энергию рождаемых релятивистских частиц и перерабатывается почти вся энергия вращения нейтронной звезды.

Неустойчивости в плазменном потоке частиц внутри или вблизи светового цилиндра, движущихся вдоль открытых силовых линий рождают радиоволны в узком направленном пучке. Именно это нетепловое явление и наблюдается от пульсаров.

При наличии очень сильного магнитного поля нейтронной звезды ($10^{12} - 10^{14}$ Гс) в тесной двойной системе возможен такой тип аккреции, при которой газ звезды падает вдоль линий магнитного поля в область магнитных полюсов нейтронной звезды. Избыток магнитного поля передаётся звезде через магнитное поле. Скорости падения порядка сотен тысяч километров в секунду, поэтому выделяется очень много энергии, которая выделяется в форме жестких квантов на поверхности в районе магнитных полюсов образуются два горячих «рентгеновских пятна». Сильное магнитное поле делает это излучение неизотропным. Такие импульсные источники получили название рентгеновские пульсары. На месте рентгеновских источников в оптическом диапазоне наблюдается нормальная звезда, как правило, так же переменная, причём механизм переменности необычен: он связан с интенсивным прогревом одной стороны звезды её горячим спутником. Если в своём орбитальном движении нейтронная звезда заходит за диск звезды, рентгеновские импульсы прекращаются до тех пор, пока нейтронная звезда не выйдет из затмения. Продолжительность этой фазы даёт дополнительную информацию об орбитах звезд и их массах.

Обычные радиопульсары также излучают рентгеновские импульсы, но намного слабее и механизм их образования другой. Радиопульсары излучают свет за счёт энергии вращения, со временем медленно тормозят, период увеличивается. А рентгеновские пульсары излучают энергию за счёт падающего вещества, передача момента импульса приводит к ускорению вращения, следовательно, период уменьшается.

В астрономии источники видны потому, что они излучают энергию. В звёздах идут термоядерные реакции, радиопульсары излучают энергию, потому что быстро вращаются, то есть источником является энергия вращения (радиопульсары). Существует другой способ — выделение гравитационной энергии при «падении» объектов на нейтронную звезду, то есть аккреция (рентгеновские пульсары). Нейтронная звезда рождается горячей, то есть у неё есть большой запас тепловой энергии. Тепловая энергия излучается, и мы видим такие источники. У магнитаров источником энергии является магнитное поле. В них постоянно текут сильные токи, греют кору звезды, а иногда появляются «короткие замыкания» и выделяется очень быстро и очень много энергии (магнитные поля в магнетарах $10^{14} - 10^{15}$ Гс). Такие вспышки наблюдаются. Впервые была замечена 5 марта 1979 года в направлении Магелланова облака.

Заключение

К концу 90-ых существовало около семи классов нейтронных звезд, которые проявляли себя как астрофизические объекты разного типа. Казалось, что они обречены родиться магнитаром, пульсаром, центральным компактным объектом в остатке сверхновой. Но затем появились новые наблюдения, например, радиопульсар начинал выдавать вспышки как магнитар, то есть объект из одного класса перешёл в другой класс астрофизических объектов. Стали открывать транзиентные магнитары, то есть проявляющий бурную активность в одно время и спокойные в другое. Возникла потребность создать единую концепцию нейтронных звёзд. В 2010-ых начала складываться картина объединения, основанная на эволюционировании такого параметра, как магнитное поле. Это позволило объяснить, например, существование транзиентных звезд – у них изменяется магнитное поле, одна из компонент усиливается, происходит «короткое замыкание», вспыхивает выделяется энергия, а затем поле в среднем становится меньше и объект становится виден как, например, радиопульсар. Существует предположение ещё одного механизма: после взрыва часть остатков сверхновой не удалась на бесконечность, а обратно притянулась к нейтронной звезде, образуя своеобразный «кокон», прижимая магнитное поле. То есть внутри нейтронная звезда с высоким магнитным полем, а на удалении видим объект с маленьким полем, который кажется спокойным.

Но через несколько десятков тысяч лет поле всё-таки выберется наружу. Если эта гипотеза реализуется, то будет объяснение, связывающее все известные на данный момент классы нейтронных звезд.

Однако за последние двадцать лет был значительно расширен «зоопарк» нейтронных звезд, поэтому, вполне возможно откроют новые виды, не вписывающиеся в данную теорию и нужно будет продолжать искать дальше новые эволюционные связи.

Список использованных источников

1. Попов С. Б. Суперобъекты: звёзды размером с город. — Москва : Альпина Нон-фикшн, 2016. — 238 с.
2. Шапиро С. Л., Тьюколски С. А. Чёрные дыры, белые карлики и нейтронные звезды / Пер. с англ. Под ред. Я. А. Смородинского. — Москва : Мир, 1985. — 656 с.
3. Хокинг С. В. От большого взрыва до чёрных дыр (краткая история времени). — Москва : Мир, 1990. — 232 с.
4. Johnston Simon, Karastergiou A. Pulsar braking and the $P - \dot{P}$ diagram // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2017. — feb. — Vol. 467, no. 3. — P. 3493–3499. — URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/stx377>.
5. Detection of X-ray emission from the very old pulsar J0108-1431 / G. G. Pavlov [et al.] // The Astrophysical Journal. — 2009. — jan. — Vol. 691, no. 1. — P. 458–464. — URL: <https://doi.org/10.1088/0004-637x/691/1/458>.

Сведения об авторах:

Елизавета Сергеевна Кузьмина — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», город Ульяновск, Россия.

E-mail: nelizavetakuzm@gmail.com

ORCID iD  0000-0001-6157-9501

Web of Science ResearcherID  AAZ-8178-2020

Modern trends in the development of astrophysics of neutron stars

E. S. Kuzmina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted October 15, 2020

Resubmitted October 29, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The main characteristics of a neutron star, such as structure and properties, are considered. Physical characteristics of neutron stars are given. The analysis of the physical characteristics of neutron stars is carried out. The main directions of development of astrophysics of neutron stars are revealed.

Keywords: neutron star, compact stellar objects, classes of neutron stars, pulsars, magnetic radio pulsar, magnetic field, rotating neutron stars, X-ray pulsars

PACS: 04.40.Dg

References

1. Popov S. B. Superobjects: city-sized stars. — Moscow : Alpina Non-fiction, 2016. — 238 p.
2. Shapiro S. L., Tjukolski S. A. Black holes, white dwarfs and neutron stars / Translation from English. Ed. Ya. A. Smorodinsky. — Moscow : Mir, 1985. — 656 p.
3. Hawking S. W. From Big Bang to Black Holes (A Brief History of Time). — Moscow : Mir, 1990. — 232 p.
4. Johnston Simon, Karastergiou A. Pulsar braking and the $P - \dot{P}$ diagram // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2017. — feb. — Vol. 467, no. 3. — P. 3493–3499. — URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/stx377>.
5. Detection of X-ray emission from the very old pulsar J0108-1431 / G. G. Pavlov [et al.] // The Astrophysical Journal. — 2009. — jan. — Vol. 691, no. 1. — P. 458–464. — URL: <https://doi.org/10.1088/0004-637x/691/1/458>.

Information about authors:

Elizaveta Sergeevna Kuzmina — Master's student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: nelizavetakuzm@gmail.com

ORCID iD  0000-0001-6157-9501

Web of Science ResearcherID  AAZ-8178-2020

УДК 531.36
ББК 22.213
ГРНТИ 30.03.17
ВАК 01.02.01

Математическое и компьютерное моделирование в управлении воздушным движением

В. П. Глухов , В. А. Казаков , А. С. Узкая , А. В. Синдяев  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 10 ноября 2020 года
После переработки 3 декабря 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассматриваются вопросы, связанные с математическим моделированием времени полётов и траектории движения воздушных судов на пересекающихся маршрутах с учётом влияния ветра. Решается задача, позволяющая избежать столкновения воздушных судов, если рассматривать все полёты воздушных судов на одном эшелоне.

Ключевые слова: математическая модель, воздушное судно, граф, столкновение, влияние ветра, путевая скорость, компьютерное моделирование

Введение

Статья посвящена математическому и компьютерному моделированию влияния ветра на столкновение воздушных судов. Рассматривается, что произойдёт, если учесть влияние ветра на время движения воздушного судна. Учёт влияния ветра на время движения воздушного судна является актуальной задачей в динамике современных летательных аппаратов.

Целью работы является исследование влияния ветра на столкновение воздушных судов.

Задачей работы является процесс математического и компьютерного моделирования влияния ветра на столкновение воздушных судов.

Объектом исследования является динамика современных летательных аппаратов.

Предметом исследования является набор характеристик динамики современных летательных аппаратов с учётом влияния ветра.

Гипотеза исследования состоит в том, что если найти критерии безопасности движения воздушных судов с учётом влияния ветра, то можно организовать полеты воздушных судов и управление движением воздушных судов таким образом, чтобы избежать столкновения воздушных судов.

¹E-mail: syndyaev@rambler.ru

Обзор

Математическое моделирование играет очень важную роль в различных процессах, связанных с решением разнообразных проблем науки, производства, образования, а так же других сфер деятельности (см, например, [1]). В настоящее время трудно представить управление воздушным движением и навигацию летательных аппаратов без математического и компьютерного моделирования. Как было показано в статьях [2–4] применение графов позволяет смоделировать траекторию движения самолётов и с учётом времени полёта воздушных судов позволяет избежать опасного сближения и столкновения при скорости ветра равной нулю.

Используя математическую и компьютерную модели, рассмотренные в статьях [2–4] рассмотрим влияние ветра на столкновение воздушных судов. Применяя навигационный треугольник скоростей и путевую скорость, решим уравнение, связанное со временем столкновения двух воздушных судов. Все полёты воздушных судов будем рассматривать на одном эшелоне.

Модель

Пусть два воздушных судна вылетают из определённых населённых пунктов, как показано на рис. 1 с определённым временным интервалом. Первое воздушное судно идёт по маршруту M_1 (1, 2, 3, 5), а второе по маршруту M_2 (5, 4, 2, 1). При определённых временных параметрах они могут столкнуться в точке А, как было показано в работах [2–4]. Чтобы этого избежать, необходимо выдерживать определённый временной интервал. Движение воздушных масс (ветер) оказывает существенное влияние на полёт воздушного судна и может изменить временные параметры полёта.

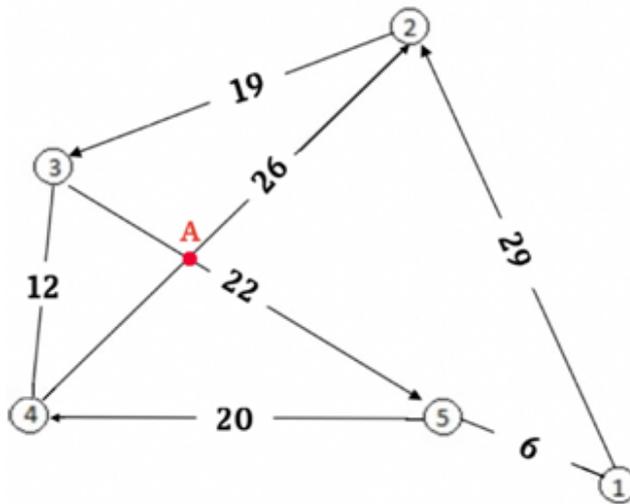


Рис. 1. Граф полётов двух воздушных судов.

Обозначим скорость воздушного судна, с которой оно движется относительно воздушной массы \mathbf{v} . Эта скорость будет называться воздушной скоростью. Скорость воздушных масс (скорость ветра) обозначим \mathbf{u} . Путевая скорость \mathbf{w} является векторной суммой воздушной скорости воздушного судна и скорости ветра

$$\mathbf{w} = \mathbf{v} + \mathbf{u} . \quad (1)$$

На рис. 2 видно, что под воздействием ветра воздушное судно сносится в сторону от начального курса \overrightarrow{AB} на угол α и для того, чтобы двигаться прежним курсом относительно Земли, воздушное судно должно лететь под углом, который называется

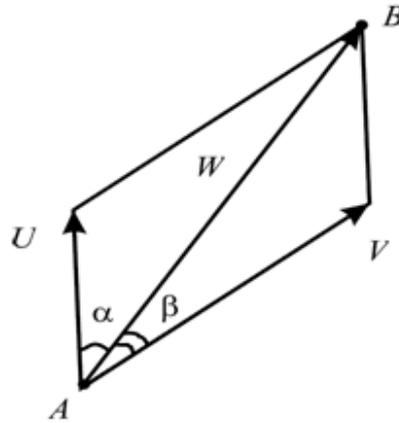


Рис. 2. Векторная диаграмма скоростей.

углом упреждения β . Из навигационного треугольника скоростей [5] легко показать, что

$$w = u \cos \alpha + \sqrt{v^2 - u^2 \sin^2 \alpha} . \quad (2)$$

Таким образом, на каждом участке маршрута скорость движения воздушного судна относительно Земли может отличаться от воздушной скорости и вследствие этого, время движения воздушного судна на каждом участке может изменяться по сравнению с движением без учёта ветра.

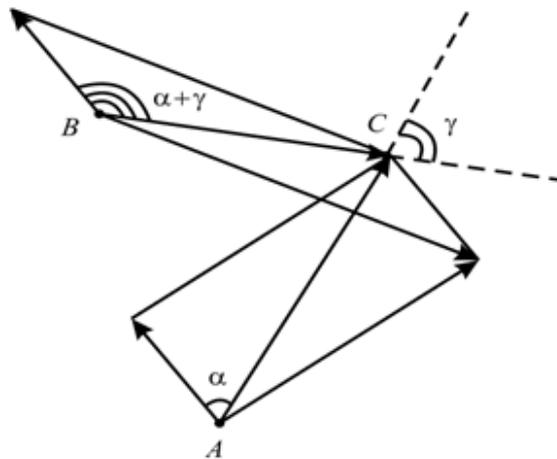


Рис. 3. Столкновения двух воздушных судов с учётом ветра.

Рассмотрим ситуацию, когда одно воздушное судно вылетает из пункта A , а другое из пункта B , причём одновременно. Первое воздушное судно следует курсом \overrightarrow{AC} , а второе следует курсом \overrightarrow{BC} (см. рис. 3). Тогда столкновение наступит в случае равенства времён полётов до точки пересечения их курсов.

$$t_1 = t_2 , \quad (3)$$

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} , \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2} . \quad (5)$$

Без учёта ветра, скорости обоих воздушных судов будут v_1 и v_2 , соответственно s_1 и s_2 – длины путей, которые должны пройти оба воздушных судна до точки C . Предположим,

для простоты $v_1 = v_2 = 300$ км/ч, $s_1 = 60$ км, $s_2 = 50$ км. Тогда по формулам (4) и (5) время движения первого воздушного судна $t_1 = 12$ мин, а время движения второго воздушного судна $t_2 = 10$ мин. То есть столкновения не произойдёт, так как воздушные суда прибудут в точку C в разное время.

Теперь предположим, что дует ветер под углом α относительно маршрута первого воздушного судна. А угол между маршрутами первого и второго воздушного судна составляет угол γ (см. рис. 3). Тогда:

$$t_1 = \frac{s_1}{w_1}, \quad t_2 = \frac{s_2}{w_2}, \quad (6)$$

где w_1 и w_2 – путевые скорости воздушного судна.

Найдём такой угол α , при котором воздушные суда столкнутся в точке C . В этом случае время полёта до точки C у обоих воздушных судов будет одинаковым. Согласно формулам (6) и (7) получаем

$$\frac{s_1}{u \cos \alpha + \sqrt{v_1^2 - u^2 \sin^2 \alpha}} = \frac{s_2}{u \cos (\alpha + \gamma) + \sqrt{v_2^2 - u^2 \sin^2 (\alpha + \gamma)}}. \quad (7)$$

Решая данное тригонометрическое уравнение относительно α , можно найти угол, при котором произойдёт столкновение. Если уравнение не имеет решения, то при данных условиях столкновение не может произойти. Рассмотрим для простоты случай, когда $\alpha + \gamma = 180^\circ$, $v_1 = v_2 = 300$ км/ч, $s_1 = 60$ км, $s_2 = 50$ км, $u = 30$ км/ч. Подставив в формулу (7) после преобразования получим

$$180 \cos (180^\circ) + 6\sqrt{300^2 - 30^2 \sin^2 (180^\circ)} = 150 \cos (\alpha) + 5\sqrt{300^2 - 30^2 \sin^2 (\alpha)}. \quad (8)$$

Откуда получаем $\alpha \approx 35.2^\circ$. То есть, при таком угле ветра, при данных условиях произойдёт столкновение. Таким образом, зная угол направления ветра, скорости воздушных судов, скорость ветра, расстояние до точки пересечения маршрутов можно рассчитать произойдёт ли столкновение воздушных судов.

Компьютерная модель даёт возможность рассматривать процесс полёта воздушных судов в их динамике. Отобразим некоторые моменты полётов воздушных судов.

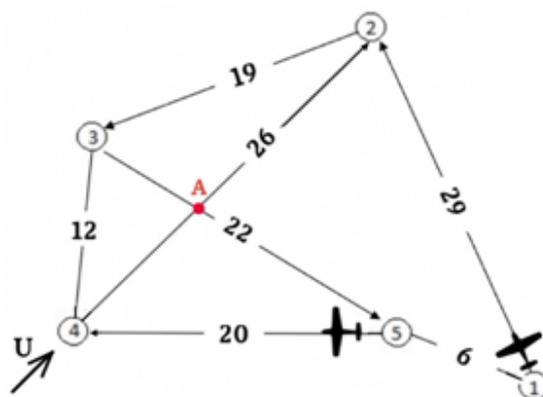


Рис. 4. Вылет воздушных судов из точки 1 и точки 5.

На рис. 4 изображена схема вылета воздушных судов из точки 1 и точки 5.

На рис. 5 изображена схема столкновения воздушных судов в точке А.

Составим таблицу движения двух воздушных судов по пересекающимся в точке А маршрутам. В каждой ячейке табл. 1 представлено время пролета 1 и 2 воздушных судов соответствующих точек маршрута.

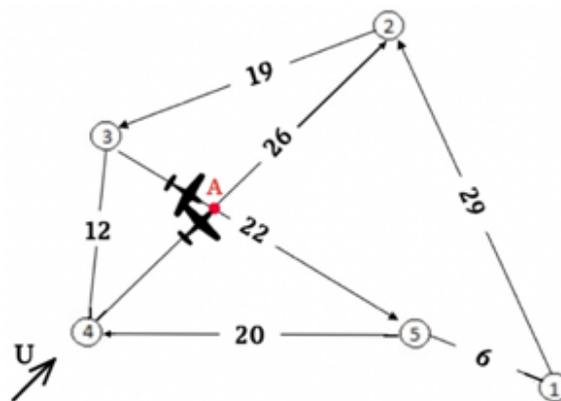


Рис. 5. Столкновение воздушных судов в точке А.

Таблица 1. Полёт воздушного судна с учётом ветра.

Суда	1	2	3	точка А	4	5
1	00:00'	00:07'	00:11'	00:13'	-	00:16'
2	00:22'	00:16'	-	00:13'	00:11'	00:06'

Заключение

Первое воздушное судно вылетает из точки 1 в 00 часов 00 минут, затем пролетает точки 2, 3, и в 00 часов 13 минут оказывается в точке А. Второе воздушное судно вылетает из точки 5 в 00 часов 6 минут, затем пролетает точку 4 и в 00 часов 13 минут оказывается в точке А. Исходя из этого, время пролета воздушных судов следующих точек маршрута учитывать не представляется возможным, так как полёт воздушных судов заканчивается столкновением в точке А. Показано, что зная угол направления ветра, скорости воздушных судов, скорость ветра, расстояние до точки пересечения маршрутов можно рассчитать произойдёт ли столкновение воздушных судов. Найденные критерии безопасности позволяют организовать полеты и их управление таким образом, чтобы избежать столкновения воздушных судов.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если найти критерии безопасности движения воздушных судов с учётом влияния ветра, то можно организовать полеты воздушных судов и управление движением воздушных судов таким образом, чтобы избежать столкновения воздушных судов, подтверждена полностью.

Список использованных источников

1. Математическое моделирование биологических процессов как реализация межпредметных связей на уроках математики и биологии : учебно-методическое пособие / В. П. Глухов [и др.]. — Ульяновск : УИПКПРО, 2004. — 28 с.
2. Акимова А. А., Глухов В. П., Узкая А. С. Межпредметные связи как средство повышения качества образования: математика и управление воздушным движением // Наука online. — 2019. — № 2 (7). — С. 33–44.
3. Акимова А. А., Узкая А. С. Теория графов в управлении воздушным движением // Материалы Международной молодёжной научной конференции “XXIV Туполевские чтения (школа молодых учёных)”. — Т. 5. — Казань : Издательство ИП Сагиева А.Р., 2019. — С. 86–89.

4. Акимова А. А., Глухов В. П., Узкая А. С. Математика и её использование в организации учебных полётов // Научный вестник Ульяновского института гражданской авиации. — 2020. — № 11. — С. 60–64.
5. Воздушная навигация и элементы самолётовождения : учебное пособие / В. Я. Мамаев [и др.]. — Санкт-Петербург : СПбГУАП, 2002. — 256 с.

Сведения об авторах:

Владимир Петрович Глухов — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия.

E-mail: vp11111948@yandex.ru

ORCID iD  0000-0002-3541-1673

Владимир Алексеевич Казаков — доцент, доцент кафедры управления воздушным движением и навигации Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия.

E-mail: kafedra_uvd@list.ru

ORCID iD  0000-0003-0171-1552

Алина Сергеевна Узкая — курсант Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия.

E-mail: alina662143@mail.ru

ORCID iD  0000-0003-2017-9856

Андрей Васильевич Синдяев — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия.

E-mail: syndyaev@rambler.ru

ORCID iD  0000-0002-9716-8189

SCOPUS ID  6508080812

Mathematical and computer modeling in air traffic control

V. P. Glukhov , V. A. Kazakov , A. S. Uzkaya , A. V. Sindyaev 

*Ulyanovsk Civil Aviation Institute named after Chief Air Marshal B. P. Bugaev, 432071,
Ulyanovsk, Russia*

Submitted November 10, 2020

Resubmitted December 3, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The questions connected with mathematical modeling of time of flights and trajectory of movement of aircrafts on crossing routes taking into account influence of a wind are considered in this article. The problem is solved, which allows avoiding a collision of aircraft, if we consider all flights of aircraft at the same level.

Keywords: mathematical model, aircraft, graph, collision, wind effect, ground speed, computer simulation

PACS: 01.55.+b

References

1. Mathematical modeling of biological processes as the implementation of intersubject connections in the lessons of mathematics and biology: teaching aid / B. P. Glukhov [et al.]. — Ulyanovsk : UIPKPRO, 2004. — 28 p.
2. Akimova A. A., Glukhov V. P., Uzkaya A. S. Interdisciplinary connections as a means of improving the quality of education: mathematics and air traffic control // Science online. — 2019. — no. 2 (7). — P. 33–44.
3. Akimova A. A., Uzkaya A. S. Theory of graphs in air traffic control // Materials of the International youth scientific conference “XXIV Tupolev Readings (School of young scientists)”. — Vol. 5. — Kazan : Publishing house of individual entrepreneur A. R. Sagieva, 2019. — P. 86–89.
4. Akimova A. A., Glukhov V. P., Uzkaya A. S. Mathematics and its use in organizing training flights // Scientific bulletin of the Ulyanovsk Institute of Civil Aviation. — 2020. — no. 11. — P. 60–64.
5. Air Navigation and Air Navigation Elements: A Tutorial / B. Ya. Mamaev [et al.]. — St. Petersburg : SPbGUAP, 2002. — 256 p.

Information about authors:

Vladimir Petrovich Glukhov — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Natural Sciences at the Ulyanovsk Civil Aviation Institute named after Chief Air Marshal B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: vp11111948@yandex.ru

ORCID iD  0000-0002-3541-1673

Vladimir Alekseyevich Kazakov — Associate Professor, Associate Professor of Department of Air Traffic Control and Navigation at the Ulyanovsk Civil Aviation Institute named after Chief Air Marshal B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kafedra_uvd@list.ru

ORCID iD  0000-0003-0171-1552

Alina Sergeyevna Uzkaya — a cadet of the Ulyanovsk Civil Aviation Institute named after Chief Air Marshal B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: alina662143@mail.ru

ORCID iD  0000-0003-2017-9856

Andrey Vasilievich Sindyaev — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences at the Ulyanovsk Civil Aviation Institute named after Chief Air Marshal B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: syndyaev@rambler.ru

ORCID iD  0000-0002-9716-8189

SCOPUS ID  6508080812

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Исследование оптического пропускания и отражения границы раздела с нанокompозитной плёнкой на подложке из аморфного кремния

К. К. Алтунин^{id}, Е. А. Гришанина^{id}¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 14 ноября 2020 года

После переработки 1 декабря 2020 года

Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Исследованы оптические свойства границы раздела воздуха с плёнкой из металл-полимерного нанокompозитного материала, расположенной на подложке из аморфного кремния. Матрицей нанокompозитной среды является полигидроксиэтилметакрилат. Система наноразмерных включений состоит из наночастиц серебра, имеющих сферическую форму. Рассчитаны зависимости энергетических коэффициентов пропускания и отражения от длины волны оптического излучения при различных углах падения внешнего оптического излучения на плёнку из металл-полимерного нанокompозитного материала, расположенную на подложке из аморфного кремния. Показано, что граница раздела воздуха с полубесконечной средой из металл-полимерного нанокompозитного материала имеет достаточно высокое оптическое пропускание и малое оптическое отражение в широком диапазоне оптических длин волн.

Ключевые слова: нанокompозит, нанокompозитная среда, наночастица, оптическое пропускание, оптическое отражение, оптическое излучение, граница раздела сред

Введение

В работе рассматриваются нанокompозиты с металлическими наночастицами в полимерной матрице, находящиеся во внешнем поле оптического излучения. Исследование свойств нанокompозитных сред представляет собой важную задачу, встающую перед современной физикой твёрдого тела. Свойства таких сред могут значительно отличаться от свойств объёмных материалов, так и отдельных наночастиц, формирующих нанокompозит. Актуальность работы заключается в разработке методов и моделей для описания оптических процессов в нанокompозитах, которые могут быть использованы в разработке новых приборов и устройств наноразмерной оптоэлектроники, нанофотоники и наноплазмоники.

Целью работы является исследование оптических свойств металл-полимерных нанокompозитных плёнок с матрицей из полигидроксиэтилметакрилата с металлическими

¹E-mail: grishanina1998@list.ru

наночастицами, находящимися во внешнем поле оптической волны. Матрицей нанокompозитной среды является полигидроксиэтилметакрилат. Система наноразмерных включений состоит из наночастиц серебра, имеющих сферическую форму.

Задачи исследования включают создание теоретической модели для адекватного описания оптических процессов в металл-полимерных нанокompозитных плёнках с матрицей из полимера с системой наноразмерных включений из металлических наночастиц, находящихся во внешнем поле оптического излучения; проведение компьютерных вычислений зависимости эффективного показателя преломления и эффективной диэлектрической проницаемости от длины волны излучения, коэффициентов отражения и пропускания оптического излучения нанокompозитной плёнки с матрицей из полимера с включениями из металлических наночастиц от длины волны оптического излучения при различных значениях параметров нанокompозитной плёнки и наночастиц, находящихся в поле оптического излучения, от длины волны излучения и угла падения излучения.

Объектом исследования является металл-полимерный нанокompозит с металлическими наночастицами. Предметом исследования выбрана металл-полимерная нанокompозитная плёнка, находящаяся во внешнем поле оптического излучения. В качестве материала нанокompозита исследуются металл-полимерные нанокompозитные материалы на примере полигидроксиэтилметакрилата с наночастицами серебра сферической формы.

Гипотеза исследования состоит в возможности численного прогнозирования оптических свойств металл-полимерных нанокompозитов.

В качестве методов исследования используются теоретические и численные методы расчёта оптических характеристик нанокompозитов, методы программирования задач нанооптики.

В качестве методов исследования выбраны металл-полимерные нанокompозитные плёнки с наночастицами серебра, расположенные на подложке из аморфного кремния.

Обзор работ по оптическим свойствам наноструктурных сред

В последние десятилетия были проведены обширные исследования и документирование синтеза и характеристики наноразмерных материалов, что позволило учёным не только получить глубокие знания о взаимосвязи между свойствами, размером, формой и составом, но и также огромный контроль над производством материалов в диапазоне от 1 до 100 нм и нескольких сотен нанометров.

Наноструктурные материалы с отрицательными значениями эффективной диэлектрической проницаемости и эффективной магнитной проницаемости находят применение в новых устройствах оптики и оптоэлектроники.

Область исследования наноструктурных материалов развивается, в частности, из-за интереса для потенциальных применений в поисках новых оптоэлектронных устройств с замедлением света [2], идеальной линзы [3], наноматериалов с отрицательными значениями диэлектрической проницаемости и магнитной проницаемости [1], наноматериалов с отрицательным показателем преломления [4]. Известен эффект усиления действующего электромагнитного поля вблизи поверхности металлических наночастиц [5], позволяющий создавать лазерные среды в виде композитов из лазерно-активных молекул на поверхности наночастиц. Нанокompозитные материалы, содержащие оксиды титана, представляют научный интерес из-за их возможного применения в оптоэлектронных устройствах [6, 7]. Усилия исследователей направлены на синтез высококачественных прозрачных плёнок, состоящих из полимерно- TiO_2 гибридных нанокompозитов, а также проведение всесторонних исследований линейных оптических свойств [8–12]. В настоящее время разработан ряд общих методов получения наночастиц, обзор которых

приведён в работе [13].

В последние годы значительный интерес к фундаментальным исследованиям в области квантовой оптики связан с появлением новых объектов исследования, таких как квантовые нити, квантовые точки, наноструктуры и атомные системы [14–17], а также развитием экспериментальных методов оптической микроскопии ближнего поля [18].

От атомов и молекул до кристаллов и объёмных компонентов, оптические материалы имеют естественную структуру в разных масштабах. Благодаря огромному прогрессу в нанотехнологиях, оптические материалы также могут быть искусственно структурированы в разных масштабах. Взаимодействие материалов с оптическими волнами и фотонами сильно зависит от структуры, которую затем можно использовать для управления распределением светового поля и распространением света. Это позволяет разрабатывать широкий спектр ключевых компонентов для оптических систем, и в настоящее время это основная область фотоники. Рефракция, интерференция, дифракция, рассеяние, анизотропия, поглощение, излучение света и нелинейные эффекты — всё это широко используется для разработки фотонных компонентов. Здесь попытаться в общем взглянуть на линейное и пассивное взаимодействие света со структурированными прозрачными материалами. Области применения многочисленны и в целом относятся к так называемым информационно-коммуникационным технологиям в более широком смысле и зелёной фотонике, в частности к фотоэлектрическим солнечным элементам.

Электромагнитная теория, основанная на феноменологических уравнениях Максвелла со строгим теоретическим подходом или с более или менее упрощёнными соображениями, позволяет описать распространение света в сложных средах, когда известны комплексные показатели преломления материалов. Понятие показателя преломления должно быть пересмотрено в некоторых случаях наноструктур. С увеличением вычислительной мощности уравнения Максвелла могут быть решены, какой бы ни была структура, но следует помнить, что выборка пространственных и временных переменных, которая обязательно конечна, всё ещё является приближённой.

Общей целью применения фотонных компонентов является возможность контролировать способ распространения и распространения света, его поляризацию и частоту.

Для поверхностных структур шероховатость поверхности вызывает рассеяние оптического излучения даже при высококачественном процессе полировки. Поверхность также может быть искусственно структурирована с периодическим рисунком или случайной поверхностью, чтобы иметь антиотражающие свойства или управлять направлением света посредством дифракции. Укладка тонких плёнок из разных материалов и различной толщины является важной областью оптических интерференционных покрытий. В зависимости от физического процесса осаждения и материала, естественная микроструктура или наноструктура плёнок может быть более или менее сложной. Это имеет различные последствия для их оптических свойств. Когда плёнки периодически структурированы в одном, двух или трёх измерениях, говорят о фотонных кристаллах, потому что световые волны ведут себя подобно волновой функции электронов в кристаллах. Оптически интерференционные покрытия можно рассматривать как одномерные фотонные кристаллы. Метаматериалы также относятся к области фотонных кристаллов. Название фотонный кристалл в настоящее время используется в более широком смысле, поскольку оно может также касаться неперидических структур.

Другая область нанофотоники, которая сильно развивается, состоит из плазмоники. Это касается использования плазмонного резонанса в небольших металлических наноструктурах различной формы. В этой области проделана большая работа для различных применений, таких как плазмонные схемы, плазмонные солнечные элементы, поверхностное комбинационное рассеяние или комбинационное рассеяние. Ещё одна область, появившаяся десять лет назад и являющаяся ещё одной актуальной темой, каса-

ются оптических свойств квантовых структур, позволяющих создавать биологические метки, эффективные светоизлучающие диоды, эффективные солнечные элементы или плоские дисплеи с низким потреблением. Моделирование определяющих свойств плёнок, включая квантовые точки, не может быть выполнено с помощью обычной модели гармонического осциллятора. Поэтому необходимы новые подходы, учитывающие квантовое удержание электронов в наноструктурах различной формы.

Развитие нанотехнологии открывает широкие горизонты в проектировании новых оптоэлектронных приборов и устройств на основе наноразмерных систем. В настоящее время интенсивно исследуются технологии получения и физические свойства новых искусственных наноматериалов и метаматериалов с атомными кластерами [19, 20] и металлическими наночастицами [21–24]. Некоторые из новых наноматериалов с усиленным оптическим пропусканием [21, 22], наноматериалов с квазиулевым показателем преломления [25] и наноматериалов с сильно отрицательными значениями комплексного показателя преломления [26] могут быть использованы в наноразмерных оптоэлектронных устройствах с управлением при помощи излучения оптического диапазона.

Большое число теоретических и экспериментальных работ посвящено исследованию свойств метаматериалов с отрицательным показателем преломления (см. обзор [13]).

Физика наноматериалов с диэлектрической проницаемостью, обладающей квазиулевыми значениями, которые поддерживаются нанослоем на частоте обнуления диэлектрической проницаемости, в последнее время является предметом дискуссий. Квазиулевое значение действительной части диэлектрической проницаемости нанокompозитной плёнки из полимерной матрицы с металлическими наночастицами превышает значение диэлектрической проницаемости для алмазоподобных просветляющих покрытий и согласуется со значением диэлектрической проницаемости, полученного из экспериментальных данных по оптическому отражению от металл-полимерного нанокompозитной плёнки [21]. Оптический отклик систем с квазиулевым показателем преломления в последнее время стал предметом интереса, поскольку было показано, что электромагнитное поле внутри среды с квазиулевыми параметрами, то есть исчезающими значениями диэлектрической проницаемости и магнитной проницаемости, обладает уникальными оптическими свойствами.

Эти особенности могут использоваться в различных оптических приложениях, таких как проектирование волнового фронта, адаптация диаграммы направленности [27, 28], невзаимные магнитооптические эффекты [29], нелинейное сверхбыстрое оптическое переключение [30, 31], измерение диэлектрической проницаемости [32, 33], и широкополосное идеальное поглощение [34, 35]. Недавние исследования показывают, что эpsilon-близкие к нулю свойства также могут наблюдаться в одной тонкоплёночной оксидной плёнке с высокой степенью легирования. Наблюдаемые уникальные свойства включают улучшенное поглощение в прозрачных проводящих оксидных слоях с квазиулевой диэлектрической проницаемостью [34, 36–39], улучшенные свойства резонансной связи с антенной [37, 40, 41] и сильно увеличенный нелинейный отклик и генерацию света в прозрачной проводящей оксидной плёнке [31, 42–45]. Кроме того, электрическая настройка проводящих оксидных материалов на эpsilon-почти нулевой режим приводит к эффективной манипуляции и модуляции света [46–48]. Однако большинство исследований оптических свойств сред с квазиулевой диэлектрической проницаемостью ограничиваются возбуждением эpsilon-близких к нулю мод в плоских структурах или металлических поверхностях с малой длиной взаимодействия, что ограничивает платформу возбуждения для новых оптических применений.

В статье [30] продемонстрировано теоретически, что электромагнитные волны могут быть «сжаты» и могут туннелировать через очень узкие каналы, заполненные эpsilon-близкие к нулю материалами. Фронт входящей плоской волны повторяется на выход-

ной границе раздела независимо от конкретной геометрии канала. Получена замкнутая аналитическая формула для параметров рассеяния определённого класса геометрий. Обсуждается, что в некоторых случаях изотропия эpsilon-близкого к нулю материала не может быть проблемой. Предложена и численно изучена метаматериальная реализация анизотропного материала с квазинулевой диэлектрической проницаемостью.

В статье [31] показано, что нелинейно-оптические явления имеют решающее значение для широкого спектра приложений, таких как микроскопия, полностью оптическая обработка данных и квантовая информация. Однако материалы обычно демонстрируют слабую оптическую нелинейность даже при интенсивном когерентном освещении. Сообщается, что оксид индия и олова может приобретать сверхбыстрый и большой зависящий от интенсивности показатель преломления в области спектра, где реальная часть его диэлектрической проницаемости обращается в нуль. Наблюдается изменение действительной части показателя преломления на 0.72 ± 0.025 , что соответствует 170% линейного показателя преломления. Это изменение показателя преломления является обратимым со временем восстановления около 360 фемтосекунд. Это даёт возможность конструировать материальные структуры со значительной сверхбыстрой нелинейностью для приложений в нанопотонике.

В статье [32] использовано усиление поля, вызванное сжатием и туннелированием энергии в сверхплоских волноводных каналах, наполненных метаматериалом, с практически нулевой эффективной диэлектрической проницаемостью, чтобы ощутить небольшие изменения диэлектрической проницаемости в нанобъекте.

В работе [33] показано, что эpsilon-близкое к нулю явление туннелирования позволяет полностью передавать волны через узкий канал даже при сильном геометрическом несоответствии. Продемонстрировано нелинейное управление эpsilon-близким к нулю туннелированием внешним полем, а также автомодуляция резонанса пропускания за счёт падающей волны. Используя секцию волновода вблизи частоты среза в качестве системы эpsilon-близкий к нулю, вводим диод с перестраиваемой и нелинейной ёмкостью, чтобы продемонстрировать оба этих эффекта. Эти результаты подтверждают более ранние теоретические идеи об использовании канала с квазинулевой диэлектрической проницаемостью для диэлектрического зондирования и их потенциальное применение для перестраиваемых структур медленного света.

Идеальное поглощение падающего света важно как для фундаментальных исследований взаимодействия света с веществом, так и для практических применений устройств. До настоящего времени в исследованиях идеального поглощения в основном использовались резонансные наноструктуры, которые требуют деликатного структурного рисунка. В статье [34] описана реализация настраиваемого и широкополосного поглощения в ближней инфракрасной области, используя относительно простые тонкоплёночные покрытия. Скорректированы условия роста плёнки оксида индия и олова и контролируется длина волны среды с квазинулевой диэлектрической проницаемостью. Показано, что это приводит к высоконастраиваемому идеальному поглощению в телекоммуникационном окне. Затем, используя многослойный оксид индия и олова с различными длинами волн, близкими к нулю, продемонстрировано широкополосное идеальное поглощение, которое охватывает широкий диапазон длин волн, близких к инфракрасному.

Проведённый анализ научных работ по исследованиям нанокompозитных материалов доказывает научную актуальность и практическую значимость рассматриваемых проблем в современной оптике наноструктур. Это объясняется тем, что нанокompозитные материалы из полимерной матрицы с наноразмерными металлическими включениями, содержащими наночастицы из благородных металлов, играют особую роль в быстро развивающихся отраслях современной оптики, оптоэлектроники и оптической техники, специализирующихся на изучении нанобъектов.

Теоретическая модель и результаты численных расчётов отражения и пропускания нанокompозитной плёнки

Амплитудные коэффициенты Френеля для плёнки могут быть записаны в точной форме [49], как

$$r_1^s = \frac{E_r^s(0)}{E_{in}^s(0)} = \frac{r_{01}^s + r_{12}^s \exp(i2\phi_1)}{1 + r_{01}^s r_{12}^s \exp(i2\phi_1)}, \quad (1)$$

$$r_1^p = \frac{E_r^p(0)}{E_{in}^p(0)} = \frac{r_{01}^p + r_{12}^p \exp(i2\phi_1)}{1 + r_{01}^p r_{12}^p \exp(i2\phi_1)}, \quad (2)$$

где фазовая толщина нанокompозитной плёнки имеет вид

$$\phi_1 = \frac{2\pi d_1}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_0 \sin^2 \theta_0}, \quad (3)$$

где θ_0 – угол падения внешнего излучения. Амплитудные коэффициенты Френеля для оптического пропускания нанокompозитной плёнки определяются выражениями:

$$t_1^s = \frac{E_t^s(0)}{E_{in}^s(0)} = \frac{t_{01}^s t_{12}^s \exp(i\phi_1)}{1 + r_{01}^s r_{12}^s \exp(i2\phi_1)}, \quad (4)$$

$$t_1^p = \frac{E_t^p(0)}{E_{in}^p(0)} = \frac{t_{01}^p t_{12}^p \exp(i\phi_1)}{1 + r_{01}^p r_{12}^p \exp(i2\phi_1)}. \quad (5)$$

Рассмотрим коэффициенты Френеля для отражения и пропускания оптического излучения по энергии для нанокompозитной плёнки. Энергетические коэффициенты отражения и пропускания нанокompозитной плёнки определим по формулам:

$$R_1^s = |r_1^s|^2, \quad (6)$$

$$T_1^s = \frac{q_2^s}{q_0^s} |t_1^s|^2. \quad (7)$$

Для границы раздела двух нанокompозитных сред энергетические коэффициенты отражения и пропускания границы раздела определяем по формулам:

$$R_{01}^s = |r_{01}^s|^2, \quad (8)$$

$$T_{01}^s = \frac{q_1^s}{q_0^s} |t_{01}^s|^2. \quad (9)$$

В случае s -поляризации волновые числа равны $q_0^s = n_0 \cos \theta_0$, $q_1^s = n_1 \cos \theta_1$.

Для оптического отражения и пропускания от нанокompозитной плёнки, расположенной на подложке, энергетические коэффициенты отражения и пропускания равны

$$R_1^s = |r_1^s|^2, \quad R_1^p = |r_1^p|^2, \quad R_1 = \frac{1}{2} (R_1^s + R_1^p), \quad (10)$$

$$T_1^s = \frac{q_2^s}{q_0^s} |t_1^s|^2, \quad T_1^p = \frac{q_2^p}{q_0^p} |t_1^p|^2, \quad T_1 = \frac{1}{2} (T_1^s + T_1^p), \quad (11)$$

где $q_j^s = n_j \cos \theta_j$, $q_j^p = n_j / \cos \theta_j$.

В случае нормального падения излучения внешней оптической волны коэффициенты Френеля для отражения и пропускания по энергии имеют вид

$$R_1 = \frac{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) - 4n_0 n_1^2 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)(n_1^2 - n_2^2) \cos 2\phi_1}{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) + 4n_0 n_1^2 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)(n_1^2 - n_2^2) \cos 2\phi_1}, \quad (12)$$

$$T_1 = \frac{8n_0 n_1^2 n_2}{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) + 4n_0 n_1^2 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)(n_1^2 - n_2^2) \cos 2\phi_1}, \quad (13)$$

где введена фазовая толщина нанокompозитной плёнки $\phi_1 = k_0 n_1 d_1 \cos \theta_1$.

Эффективная диэлектрическая проницаемость нанокompозитной среды в приближении эффективной среды может быть найдена из формулы

$$\frac{\varepsilon_{\text{eff}} - \varepsilon_m}{g(\varepsilon_{\text{eff}} - \varepsilon_m) + \varepsilon_m} = f \frac{\varepsilon_p - \varepsilon_m}{g(\varepsilon_p - \varepsilon_m) + \varepsilon_m}, \quad (14)$$

где f – фактор заполнения металлическими наночастицами нанокompозитной среды, g – фактор деполяризации, определяемый формой и ориентацией частицы. Для наночастиц сферической формы деполяризующий фактор принимает значение $g = 1/3$. Выразим эффективную диэлектрическую проницаемость нанокompозитной среды в явном виде. Тогда получим следующее выражение

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_m \left(1 + \frac{f(\varepsilon_p - \varepsilon_m)}{\varepsilon_m + (1-f)g(\varepsilon_p - \varepsilon_m)} \right), \quad (15)$$

которое будет пригодно для проведения численных расчётов без численного решения уравнения (14) для нахождения эффективной поляризуемости металл-полимерной нанокompозитной среды.

Приведём результаты расчёта энергетических коэффициентов отражения, пропускания и поглощения от длины волны излучения для структуры, в которой оптическое излучение падает из среды 0 (воздух) на нанокompозитную среду 1 (PHEMA+Ag), находящуюся на подложке из аморфного кремния.

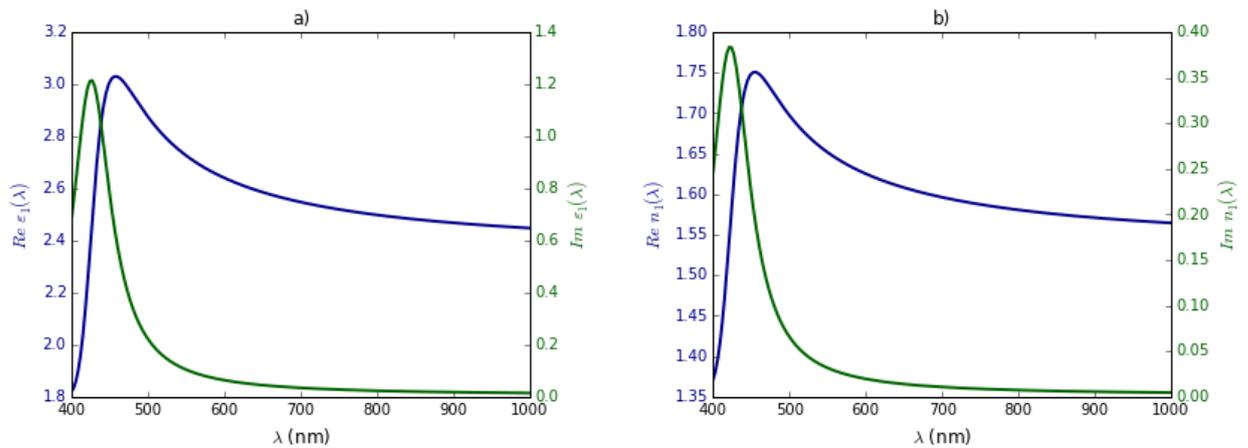


Рис. 1. Зависимость эффективной диэлектрической проницаемости (а) и эффективного показателя преломления (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

На рис. 1 изображена зависимость диэлектрической проницаемости (а) и эффективного показателя преломления (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Матрицей нанокompозитной среды является полигидроксиэтилметакрилат. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

На рис. 2 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Толщина нанокompозитной

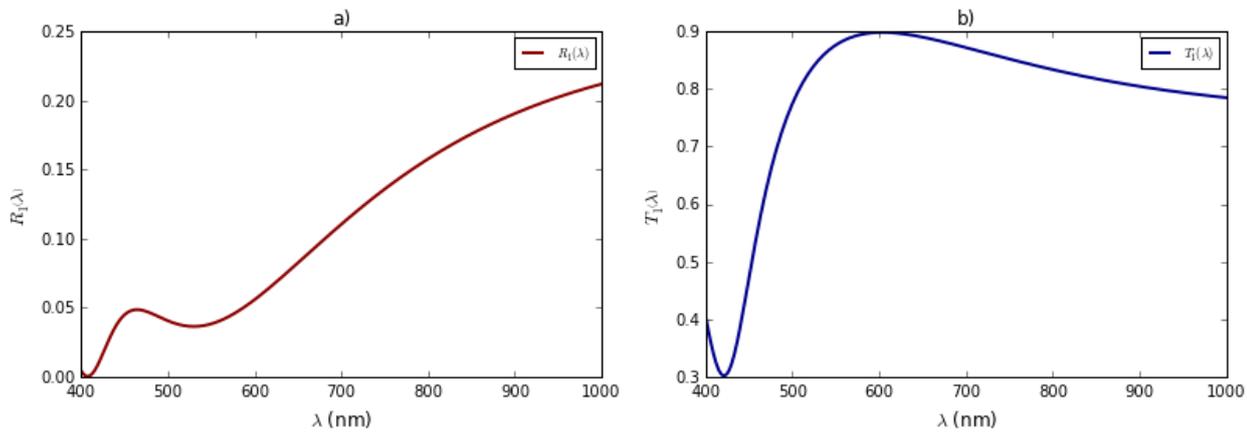


Рис. 2. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

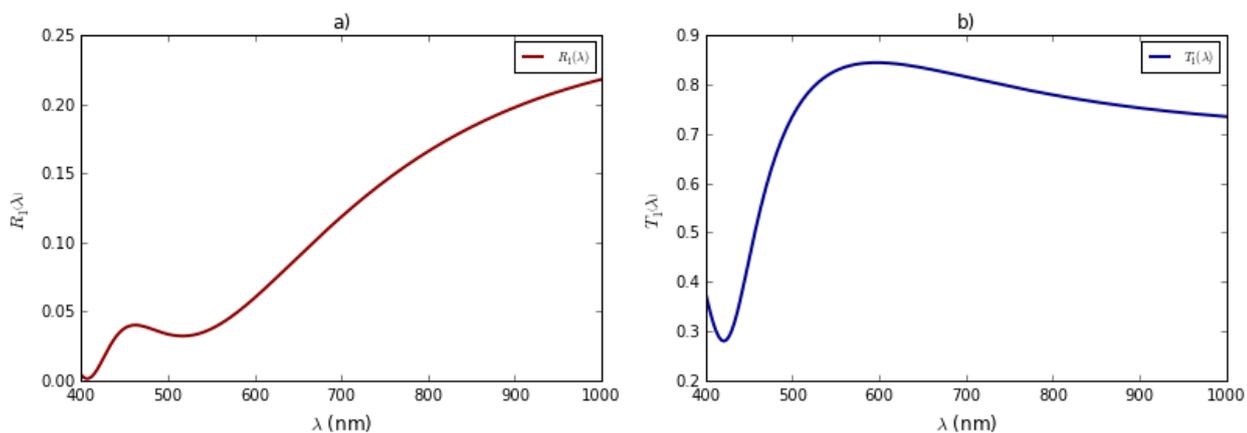


Рис. 3. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

На рис. 3 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

На рис. 4 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор

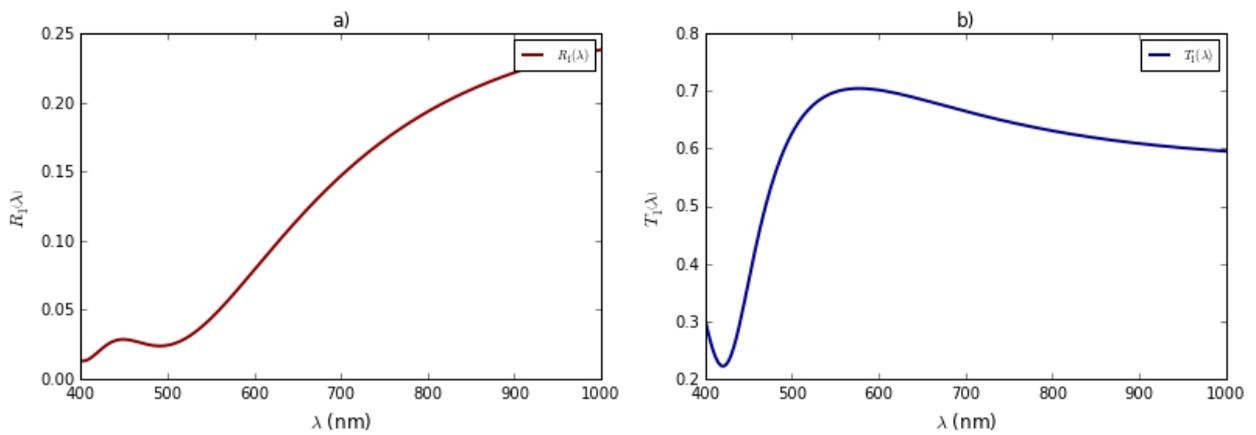


Рис. 4. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

заполнения $f_1 = 3\%$.

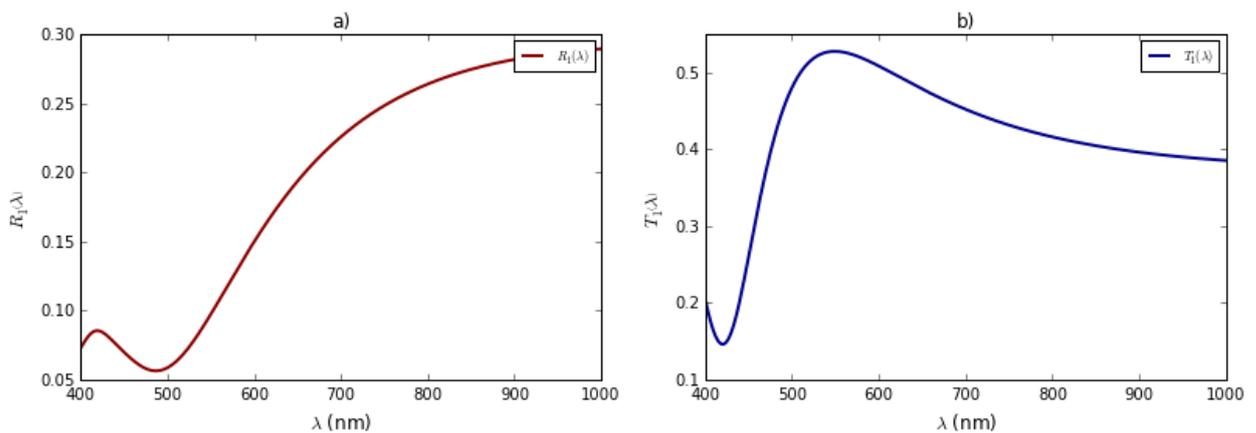


Рис. 5. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

На рис. 5 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 2.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 3\%$.

На рис. 6 изображена зависимость диэлектрической проницаемости (а) и эффективного показателя преломления (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Матрицей нанокompозитной среды является полигидроксиэтилметакрилат. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

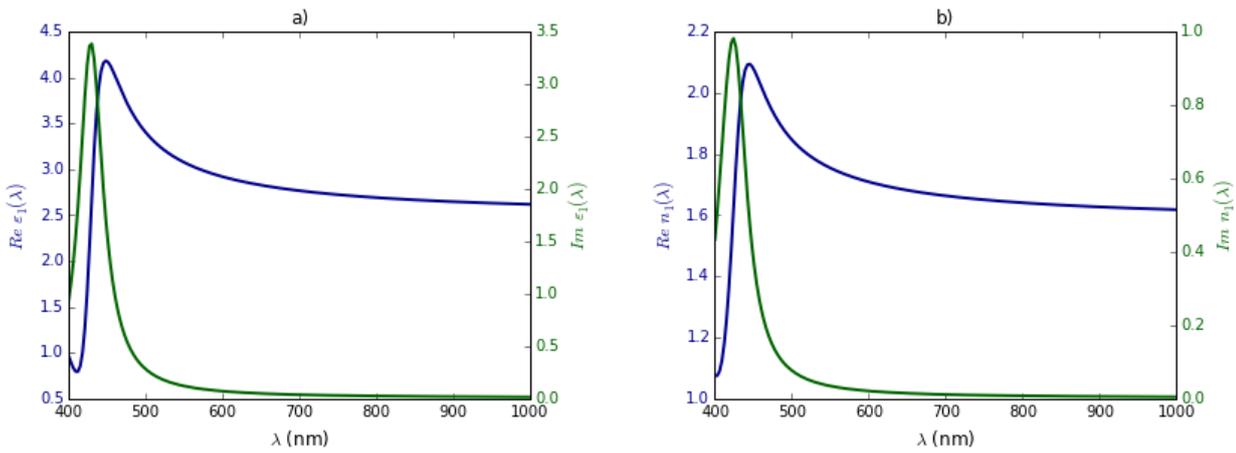


Рис. 6. Зависимость эффективной диэлектрической проницаемости (а) и эффективного показателя преломления (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

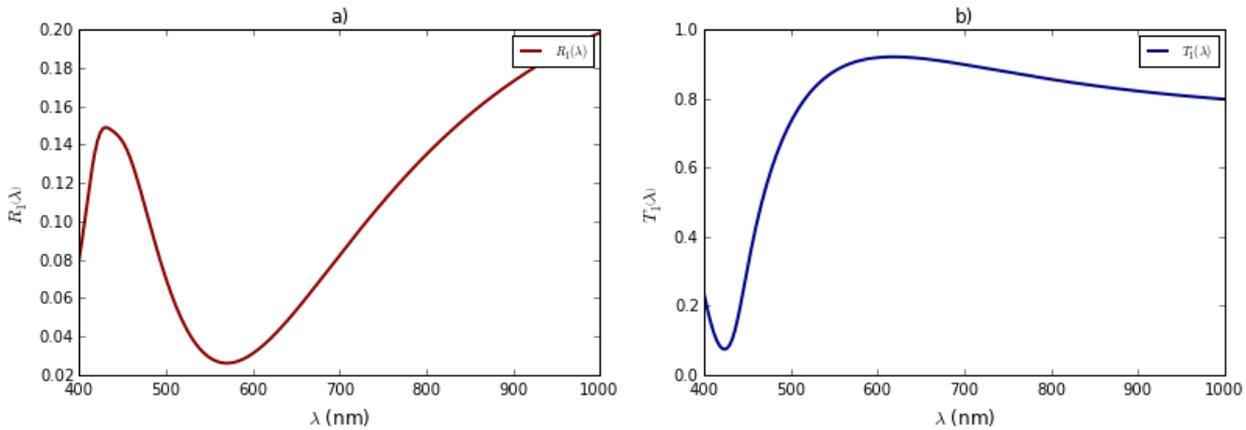


Рис. 7. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

На рис. 7 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

На рис. 8 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

На рис. 9 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического от-

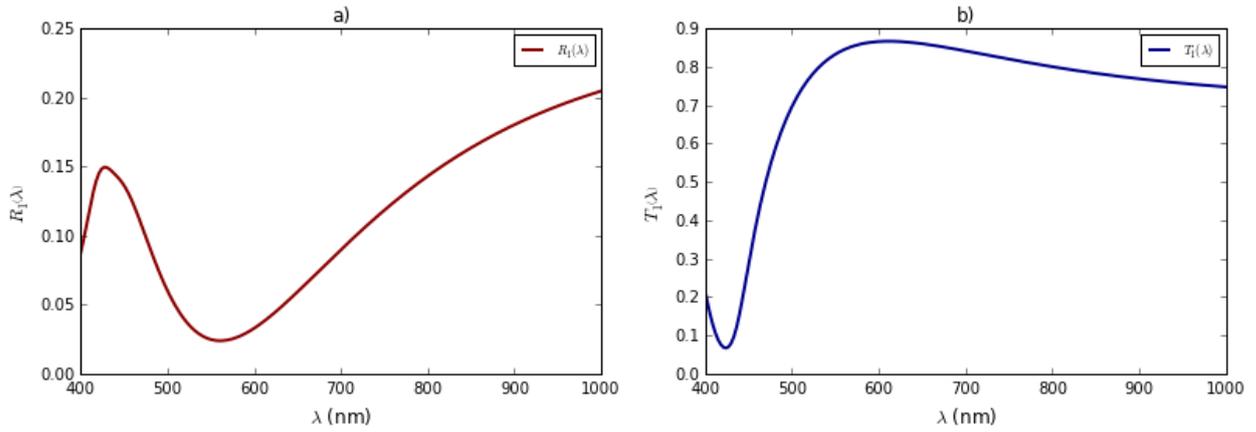


Рис. 8. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PNEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

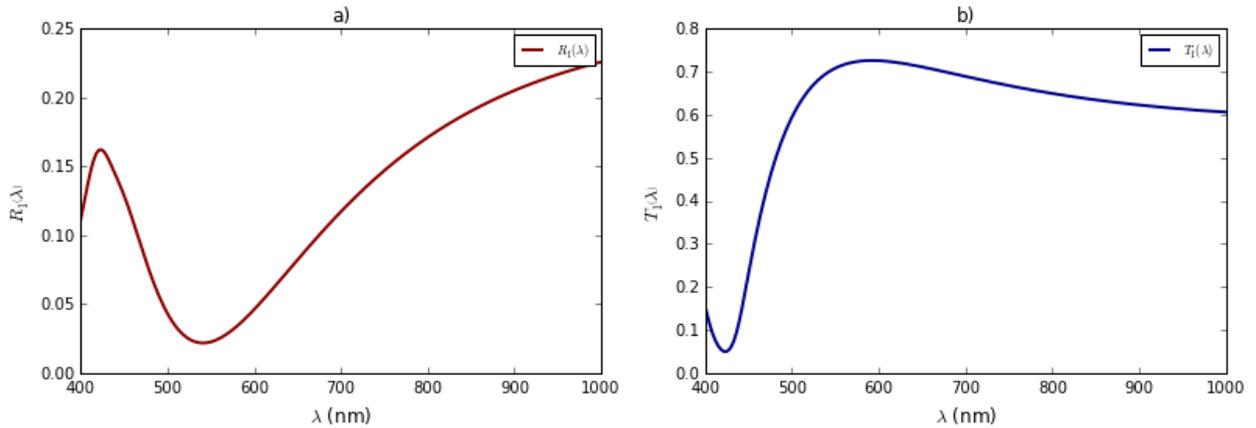


Рис. 9. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PNEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

ражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PNEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

На рис. 10 изображена зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PNEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$. Видно, что нанокompозитная структура обладает высоким уровнем пропускания оптического излучения. Зависимость поглощения от угла падения излучения существует, но является достаточно слабой.

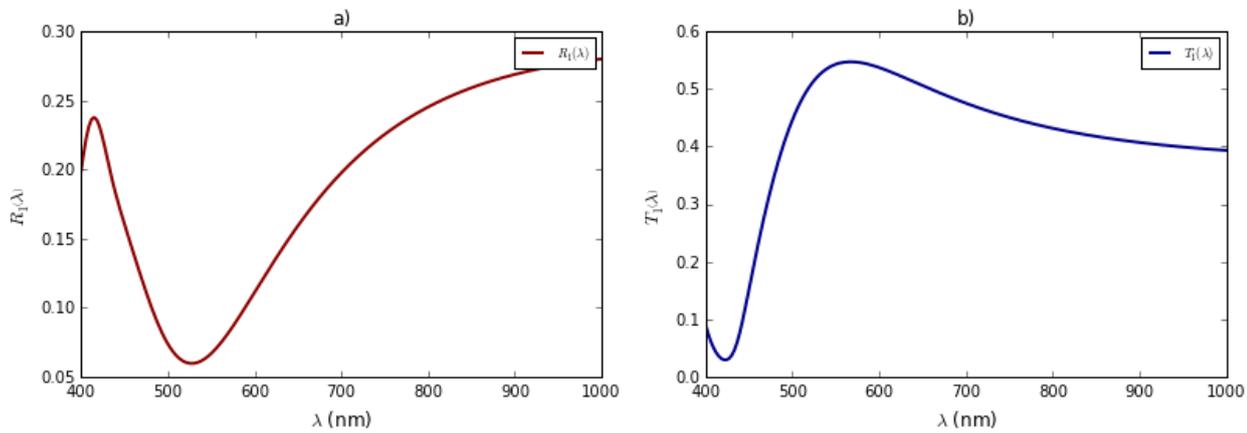


Рис. 10. Зависимость энергетических коэффициентов оптического отражения (а) и оптического пропускания (б) нанокompозитной плёнки (PHEMA+Ag), находящейся на подложке из аморфного кремния, от длины волны оптического излучения. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$. Толщина нанокompозитной плёнки равна $d_1 = 85$ мкм. Радиус наночастиц серебра $a_1 = 4.5$ нм, фактор заполнения $f_1 = 5\%$.

Заключение

В работе проведено исследование оптических свойств нанокompозитных материалов, содержащих сферические наночастицы серебра. Проведено исследование теоретической модели, используемой для описания оптических свойств металл-полимерных нанокompозитных плёнок с металлическими наночастицами. Построена теоретическая модель, пригодная для адекватного описания оптических свойств нанокompозитной плёнки с наночастицами серебра, расположенной на подложке из аморфного кремния. Проведено численное исследование энергетических коэффициентов оптического отражения и оптического пропускания от нанокompозитной плёнки. В работе проведены численные вычисления оптического пропускания и отражения металл-полимерных нанокompозитов. Проведено рассмотрение оптического отражения и пропускания от нанокompозитной плёнки с наночастицами серебра, расположенной на подложке из аморфного кремния. Выявлен ряд теоретических и численных приёмов вычислений, перспективных с точки зрения направленного исследования физических свойств металл-полимерных нанокompозитов с металлическими наночастицами из благородных металлов. Составлена компьютерная программа на языке программирования Python для вычисления коэффициентов оптического отражения и пропускания металл-полимерной нанокompозитной плёнки с наночастицами серебра, расположенной на подложке из аморфного кремния. Построенные зависимости энергетических коэффициентов оптического пропускания и оптического отражения металл-полимерной нанокompозитной плёнки с наночастицами серебра, расположенной на подложке из аморфного кремния, демонстрируют высокое оптическое пропускание металл-полимерной нанокompозитной плёнки с наночастицами серебра, расположенной на подложке из аморфного кремния, при изменении весового содержания и геометрических размеров наночастиц серебра. Нанокompозитные среды являются той базой, на которой создаются новые материалы с заданными структурными, электронными и оптическими свойствами, которые определяются размером, формой и упорядоченностью составляющих их металлических наночастиц, а также факторами заполнения металлическими наночастицами.

Итак, в работе решена граничная задача взаимодействия оптической волны с металл-полимерными нанокompозитами. Построена теоретическая модель для описания оптических процессов оптического отражения и пропускания металл-полимерного нано-

композита, находящейся во внешнем поле оптического излучения. При помощи теоретических и численных методов последовательно исследованы оптические свойства металл-полимерных нанокомпозитов с металлическими наночастицами. Обнаруженное физическое явление усиленного прохождения оптического излучения заданной длины волны через металл-полимерный нанокомпозит с наночастицами серебра может быть использовано для разработки и конструирования новых оптоэлектронных приборов и устройств на основе металл-полимерных нанокомпозитных материалов с наночастицами серебра. Результаты данного исследования могут быть полезны для разработки наноматериалов с усиленным оптическим пропусканием.

Нанокомпозитные материалы из полимерной матрицы с наноразмерными металлическими включениями, содержащими наночастицы из благородных металлов, играют особую роль в быстро развивающихся отраслях современной оптики, оптоэлектроники и оптической техники, специализирующихся на изучении нанообъектов. Для современных сверхбыстродействующих устройств наноэлектроники и наноразмерной оптоэлектроники принципиально важно наличие наноразмерных структурных блоков и элементов. Использование нанокомпозитных покрытий обеспечивает высокоэффективное просветление, регулируемое во время роста плёнки, и не требует какого-либо структурного рисунка впоследствии. Это также облегчает интеграцию идеальных поглотителей в масштабе микросхемы с другими компонентами устройства. Широкополосное высокоэффективное просветление ослабляет условие единственной длины волны в предыдущих исследованиях идеального просветления и, таким образом, подходит для многих практических применений устройств, включая датчики, фотоприёмники и устройства сбора энергии.

Список использованных источников

1. Veselago Viktor G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ε and μ // *Usp. Fiz. Nauk.* — 1967. — Vol. 92, no. 7. — P. 517. — URL: <http://dx.doi.org/10.3367/UFNr.0092.196707d.0517>.
2. Alekseyev Leonid V., Narimanov Evgenii. Slow light and 3D imaging with non-magnetic negative index systems // *Optics Express.* — 2006. — Vol. 14, no. 23. — P. 11184. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.14.011184>.
3. Pendry J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // *Physical Review Letters.* — 2000. — Vol. 85, no. 18. — P. 3966–3969. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.85.3966>.
4. A negative permeability material at red light / H.-K. Yuan [et al.] // *Opt. Express.* — 2007. — Vol. 15, no. 3. — P. 1076. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.15.001076>.
5. Shalaev V. M., Sarychev A. K. Nonlinear optics of random metal-dielectric films // *Phys. Rev. B.* — 1998. — may. — Vol. 57, no. 20. — P. 13265–13288. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.57.13265>.
6. Preparation and structure analysis of titanium oxide nanotubes / G. H. Du [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* — 2001. — Vol. 79, no. 22. — P. 3702. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1423403>.
7. Suzuki Naoaki, Tomita Yasuo, Kojima Takashi. Holographic recording in TiO₂ nanoparticle-dispersed methacrylate photopolymer films // *Appl. Phys. Lett.* — 2002. — Vol. 81, no. 22. — P. 4121. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1525391>.

8. New high-refractive-index organic/inorganic hybrid materials from sol-gel processing / B. Wang [et al.] // *Macromolecules*. — 1991. — may. — Vol. 24, no. 11. — P. 3449–3450. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/ma00011a063>.
9. Zhang J., Luo S., Gui L. Poly(methyl methacrylate)-titania hybrid materials by sol-gel processing // *Journal of Materials Science*. — 1997. — Vol. 32, no. 6. — P. 1469–1472. — URL: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018553901058>.
10. Synthesis and characterization of trialkoxysilane-capped poly(methyl methacrylate)-titania hybrid optical thin films / Wen-Chang Chen [et al.] // *Journal of Materials Chemistry*. — 1999. — Vol. 9, no. 12. — P. 2999–3003. — URL: <http://dx.doi.org/10.1039/A906157F>.
11. New observations on the optical properties of PPV/TiO₂ nanocomposites / Jing Zhang [et al.] // *Polymer*. — 2001. — apr. — Vol. 42, no. 8. — P. 3697–3702. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00703-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00703-5).
12. Lee Long-Hua, Chen Wen-Chang. High-refractive-index thin films prepared from trialkoxysilane-capped poly(methyl methacrylate)-titania materials // *Chemistry of Materials*. — 2001. — mar. — Vol. 13, no. 3. — P. 1137–1142. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/cm000937z>.
13. Vinogradov A. P., Dorofeenko A. V., Zouhdi S. On the problem of the effective parameters of metamaterials // *Physics-Uspekhi*. — 2008. — may. — Vol. 51, no. 5. — P. 485–492. — URL: <http://dx.doi.org/10.1070/PU2008v051n05ABEH006533>.
14. Xi J.-Q., Kim Jong Kyu, Schubert E. F. Silica Nanorod-Array Films with Very Low Refractive Indices // *Nano Letters*. — 2005. — jul. — Vol. 5, no. 7. — P. 1385–1387. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/nl050698k>.
15. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. — Москва : КомКнига, 2006. — 592 с.
16. Кособудский И. Д., Ушаков Н. М., Юрков Ю. Г. Введение в химию и физику наноразмерных объектов. — Саратов : СГТУ, Изд. ООО “Вертикаль”, 2007. — 182 с.
17. Физическая химия наноразмерных объектов: композиционные материалы / И. Д. Кособудский [и др.]. — Саратов : СГТУ, Издательство ООО “Рата”, 2009. — 230 с.
18. Gadomsky O. N., Kadochkin A. S. Boundary-value problems in near-field optical microscopy and optical size resonances // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. — 2003. — sep. — Vol. 97, no. 3. — P. 466–478. — URL: <http://dx.doi.org/10.1134/1.1618333>.
19. Гадомский О. Н., Алтунин К. К., Зубков Е. Г. Радиационная теория металлического кластера // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки*. — 2012. — № 3. — С. 144–152.
20. Уменьшение естественной ширины атомных уровней в наноструктурных системах / О. Н. Гадомский [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки*. — 2012. — № 3. — С. 153–163.

21. Усиленное оптическое пропускание композитных наноструктурных толстых плёнок с квазиулевым показателем преломления (I. Экспериментальные данные) / О. Н. Гадомский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 4. — С. 227–236.
22. Усиленное оптическое пропускание композитных наноструктурных толстых плёнок с квазиулевым показателем преломления (II. Теория) / О. Н. Гадомский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2013. — № 1. — С. 122–134.
23. Алтунин К. К. Высокоэффективные просветляющие оптические покрытия из нанокомпозитных материалов с квазиулевыми показателями преломления и поглощения // Радиоэлектронная техника. — 2013. — № 1. — С. 168–177.
24. Алтунин К. К. Сверхпрозрачные композитные наноматериалы с квазиулевыми значениями показателя преломления для солнечной энергетики // Радиоэлектронная техника. — 2013. — № 1. — С. 178–189.
25. Near-field effect in composite nanomaterials with a quasi-zero refractive index / O. N. Gadomsky [et al.] // Optics Communications. — 2014. — mar. — Vol. 315. — P. 286–294. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2013.11.035>.
26. Altunin K. K., Gadomsky O. N. High-negative effective refractive index of silver nanoparticles system in nanocomposite films // Optics Communications. — 2012. — mar. — Vol. 285, no. 5. — P. 816–820. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.033>.
27. Epsilon-near-zero metamaterials and electromagnetic sources: Tailoring the radiation phase pattern / Andrea Alù [et al.] // Physical Review B. — 2007. — apr. — Vol. 75, no. 15. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.75.155410>.
28. Ziolkowski Richard W. Propagation in and scattering from a matched metamaterial having a zero index of refraction // Physical Review E. — 2004. — oct. — Vol. 70, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreve.70.046608>.
29. Davoyan Arthur R., Mahmoud Ahmed M., Engheta Nader. Optical isolation with epsilon-near-zero metamaterials // Optics Express. — 2013. — feb. — Vol. 21, no. 3. — P. 3279. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.21.003279>.
30. Silveirinha Mário, Engheta Nader. Tunneling of Electromagnetic Energy through Subwavelength Channels and Bends using-Near-Zero Materials // Physical Review Letters. — 2006. — oct. — Vol. 97, no. 15. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.97.157403>.
31. Alam M. Z., Leon I. De, Boyd R. W. Large optical nonlinearity of indium tin oxide in its epsilon-near-zero region // Science. — 2016. — apr. — Vol. 352, no. 6287. — P. 795–797. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.aae0330>.
32. Alù Andrea, Engheta Nader. Dielectric sensing in-near-zero narrow waveguide channels // Physical Review B. — 2008. — jul. — Vol. 78, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.78.045102>.
33. Nonlinear control of tunneling through an epsilon-near-zero channel / David A. Powell [et al.] // Physical Review B. — 2009. — jun. — Vol. 79, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.79.245135>.

34. Broadband Epsilon-Near-Zero Perfect Absorption in the Near-Infrared / Junho Yoon [et al.] // *Scientific Reports*. — 2015. — aug. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep12788>.
35. Excitation of epsilon-near-zero resonance in ultra-thin indium tin oxide shell embedded nanostructured optical fiber / Khant Minn [et al.] // *Scientific Reports*. — 2018. — feb. — Vol. 8, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19633-2>.
36. Directional perfect absorption using deep subwavelength low-permittivity films / Ting S. Luk [et al.] // *Physical Review B*. — 2014. — aug. — Vol. 90, no. 8. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.90.085411>.
37. General Strategy for Broadband Coherent Perfect Absorption and Multi-wavelength All-optical Switching Based on Epsilon-Near-Zero Multilayer Films / Tae Young Kim [et al.] // *Scientific Reports*. — 2016. — mar. — Vol. 6, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep22941>.
38. Campione Salvatore, Brener Igal, Marquier Francois. Theory of epsilon-near-zero modes in ultrathin films // *Physical Review B*. — 2015. — mar. — Vol. 91, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.91.121408>.
39. Feng Simin, Halterman Klaus. Coherent perfect absorption in epsilon-near-zero metamaterials // *Physical Review B*. — 2012. — oct. — Vol. 86, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.86.165103>.
40. Near-Infrared Strong Coupling between Metamaterials and Epsilon-near-Zero Modes in Degenerately Doped Semiconductor Nanolayers / Salvatore Campione [et al.] // *ACS Photonics*. — 2016. — jan. — Vol. 3, no. 2. — P. 293–297. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5b00663>.
41. Experimental verification of epsilon-near-zero plasmon polariton modes in degenerately doped semiconductor nanolayers / Salvatore Campione [et al.] // *Optics Express*. — 2016. — aug. — Vol. 24, no. 16. — P. 18782. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.24.018782>.
42. Comparative Study of Second-Harmonic Generation from Epsilon-Near-Zero Indium Tin Oxide and Titanium Nitride Nanolayers Excited in the Near-Infrared Spectral Range / Antonio Capretti [et al.] // *ACS Photonics*. — 2015. — oct. — Vol. 2, no. 11. — P. 1584–1591. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5b00355>.
43. Enhanced Nonlinear Refractive Index in Near-Zero Materials / L. Caspani [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2016. — jun. — Vol. 116, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.116.233901>.
44. Epsilon-near-zero Al-doped ZnO for ultrafast switching at telecom wavelengths / N. Kinsey [et al.] // *Optica*. — 2015. — jul. — Vol. 2, no. 7. — P. 616. — URL: <https://doi.org/10.1364/optica.2.000616>.
45. Femtosecond optical polarization switching using a cadmium oxide-based perfect absorber / Yuanmu Yang [et al.] // *Nature Photonics*. — 2017. — may. — Vol. 11, no. 6. — P. 390–395. — URL: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2017.64>.
46. Electrically Tunable Epsilon-Near-Zero (ENZ) Metafilm Absorbers / Junghyun Park [et al.] // *Scientific Reports*. — 2015. — nov. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep15754>.

47. Gate-Tunable Conducting Oxide Metasurfaces / Yao-Wei Huang [et al.] // Nano Letters. — 2016. — sep. — Vol. 16, no. 9. — P. 5319–5325. — URL: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b00555>.
48. Nanoscale Conducting Oxide PlasMOSstor / Ho W. Lee [et al.] // Nano Letters. — 2014. — oct. — Vol. 14, no. 11. — P. 6463–6468. — URL: <https://doi.org/10.1021/nl502998z>.
49. Born Max, Wolf Emil. Principles of Optics. — Oxford : Pergamon Press, 1969. — 720 p.

Сведения об авторах:

Константин Константинович Алтунин — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Елена Алексеевна Гришанина — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: grishanina1998@list.ru

ORCID iD  0000-0003-4857-417X

Web of Science ResearcherID  ABH-1726-2020

Investigation of optical transmission and reflection of the interface with a nanocomposite film on an amorphous silicon substrate

K. K. Altunin , E. A. Grishanina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 14, 2020

Resubmitted December 1, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The optical properties of the interface between air and a film of a metal-polymer nanocomposite material located on an amorphous silicon substrate are investigated. The matrix of the nanocomposite medium is polyhydroxyethyl methacrylate. The system of nanosized inclusions consists of spherical silver nanoparticles. The dependences of the energy transmission and reflection coefficients on the wavelength of optical radiation at various angles of incidence of external optical radiation on a film of a metal-polymer nanocomposite material located on an amorphous silicon substrate are calculated. It is shown that the interface between air and a semi-infinite medium made of a metal-polymer nanocomposite material has a sufficiently high optical transmission and low optical reflection in a wide range of optical wavelengths.

Keywords: nanocomposite, nanocomposite medium, nanoparticle, optical transmission, optical reflection, optical radiation, interface

PACS: 42.25.Bs

References

1. Veselago Viktor G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ // *Usp. Fiz. Nauk.* — 1967. — Vol. 92, no. 7. — P. 517. — URL: <http://dx.doi.org/10.3367/UFNr.0092.196707d.0517>.
2. Pendry J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // *Physical Review Letters.* — 2000. — Vol. 85, no. 18. — P. 3966–3969. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.85.3966>.
3. Alekseyev Leonid V., Narimanov Evgenii. Slow light and 3D imaging with non-magnetic negative index systems // *Optics Express.* — 2006. — Vol. 14, no. 23. — P. 11184. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.14.011184>.
4. A negative permeability material at red light / H.-K. Yuan [et al.] // *Opt. Express.* — 2007. — Vol. 15, no. 3. — P. 1076. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.15.001076>.
5. Shalaev V. M., Sarychev A. K. Nonlinear optics of random metal-dielectric films // *Phys. Rev. B.* — 1998. — may. — Vol. 57, no. 20. — P. 13265–13288. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.57.13265>.
6. Preparation and structure analysis of titanium oxide nanotubes / G. H. Du [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* — 2001. — Vol. 79, no. 22. — P. 3702. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1423403>.

7. Suzuki Naoaki, Tomita Yasuo, Kojima Takashi. Holographic recording in TiO₂ nanoparticle-dispersed methacrylate photopolymer films // *Appl. Phys. Lett.* — 2002. — Vol. 81, no. 22. — P. 4121. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1525391>.
8. New high-refractive-index organic/inorganic hybrid materials from sol-gel processing / B. Wang [et al.] // *Macromolecules.* — 1991. — may. — Vol. 24, no. 11. — P. 3449–3450. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/ma00011a063>.
9. Zhang J., Luo S., Gui L. Poly(methyl methacrylate)-titania hybrid materials by sol-gel processing // *Journal of Materials Science.* — 1997. — Vol. 32, no. 6. — P. 1469–1472. — URL: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018553901058>.
10. Synthesis and characterization of trialkoxysilane-capped poly(methyl methacrylate)-titania hybrid optical thin films / Wen-Chang Chen [et al.] // *Journal of Materials Chemistry.* — 1999. — Vol. 9, no. 12. — P. 2999–3003. — URL: <http://dx.doi.org/10.1039/A906157F>.
11. New observations on the optical properties of PPV/TiO₂ nanocomposites / Jing Zhang [et al.] // *Polymer.* — 2001. — apr. — Vol. 42, no. 8. — P. 3697–3702. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00703-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00703-5).
12. Lee Long-Hua, Chen Wen-Chang. High-refractive-index thin films prepared from trialkoxysilane-capped poly(methyl methacrylate)-titania materials // *Chemistry of Materials.* — 2001. — mar. — Vol. 13, no. 3. — P. 1137–1142. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/cm000937z>.
13. Vinogradov A. P., Dorofeenko A. V., Zouhdi S. On the problem of the effective parameters of metamaterials // *Physics-Uspekhi.* — 2008. — may. — Vol. 51, no. 5. — P. 485–492. — URL: <http://dx.doi.org/10.1070/PU2008v051n05ABEH006533>.
14. Xi J.-Q., Kim Jong Kyu, Schubert E. F. Silica Nanorod-Array Films with Very Low Refractive Indices // *Nano Letters.* — 2005. — jul. — Vol. 5, no. 7. — P. 1385–1387. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/nl1050698k>.
15. Suzdalev I. P. Nanotechnology: physicochemistry of nanoclusters, nanostructures and nanomaterials. — Moscow : ComBook, 2006. — 592 p.
16. Kosobudskiy I. D., Ushakov N. M., Yurkov Yu. G. Introduction to the chemistry and physics of nanoscale objects. — Saratov : SSTU, Ed. LLC “Vertical”, 2007. — 182 p.
17. Physical chemistry of nanoscale objects: composite materials / I. D. Kosobudskiy [et al.]. — Saratov : SSTU, Rata LLC Publishing House, 2009. — 230 p.
18. Gadomsky O. N., Kadochkin A. S. Boundary-value problems in near-field optical microscopy and optical size resonances // *Journal of Experimental and Theoretical Physics.* — 2003. — sep. — Vol. 97, no. 3. — P. 466–478. — URL: <http://dx.doi.org/10.1134/1.1618333>.
19. Gadomsky O. N., Altunin K. K., Zubkov E. G. Radiation theory of a metal cluster // *News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences.* — 2012. — no. 3. — P. 144–152.
20. Reducing the natural width of atomic levels in nanostructured systems / O. N. Gadomsky [et al.] // *News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences.* — 2012. — no. 3. — P. 153–163.

21. Enhanced optical transmission of composite nanostructured thick films with quasi-zero refractive index (I. Experimental data) / O. N. Gadomsky [et al.] // News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. — 2012. — no. 4. — P. 227–236.
22. Enhanced optical transmission of composite nanostructured thick films with quasi-zero refractive index (II. Theory) / O. N. Gadomsky [et al.] // News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. — 2013. — no. 1. — P. 122–134.
23. Altunin K. K. High-performance antireflection optical coatings made of nanocomposite materials with quasi-zero refractive and absorption indices // *Electronic equipment*. — 2013. — no. 1. — P. 168–177.
24. Altunin K. K. Ultra-transparent composite nanomaterials with quasi-zero refractive index values for solar energy // *Electronic equipment*. — 2013. — no. 1. — P. 178–189.
25. Near-field effect in composite nanomaterials with a quasi-zero refractive index / O. N. Gadomsky [et al.] // *Optics Communications*. — 2014. — mar. — Vol. 315. — P. 286–294. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2013.11.035>.
26. Altunin K. K., Gadomsky O. N. High-negative effective refractive index of silver nanoparticles system in nanocomposite films // *Optics Communications*. — 2012. — mar. — Vol. 285, no. 5. — P. 816–820. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.033>.
27. Epsilon-near-zero metamaterials and electromagnetic sources: Tailoring the radiation phase pattern / Andrea Alù [et al.] // *Physical Review B*. — 2007. — apr. — Vol. 75, no. 15. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.75.155410>.
28. Ziolkowski Richard W. Propagation in and scattering from a matched metamaterial having a zero index of refraction // *Physical Review E*. — 2004. — oct. — Vol. 70, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreve.70.046608>.
29. Davoyan Arthur R., Mahmoud Ahmed M., Engheta Nader. Optical isolation with epsilon-near-zero metamaterials // *Optics Express*. — 2013. — feb. — Vol. 21, no. 3. — P. 3279. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.21.003279>.
30. Silveirinha Mário, Engheta Nader. Tunneling of Electromagnetic Energy through Subwavelength Channels and Bends using-Near-Zero Materials // *Physical Review Letters*. — 2006. — oct. — Vol. 97, no. 15. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.97.157403>.
31. Alam M. Z., Leon I. De, Boyd R. W. Large optical nonlinearity of indium tin oxide in its epsilon-near-zero region // *Science*. — 2016. — apr. — Vol. 352, no. 6287. — P. 795–797. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.aae0330>.
32. Alù Andrea, Engheta Nader. Dielectric sensing in-near-zero narrow waveguide channels // *Physical Review B*. — 2008. — jul. — Vol. 78, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.78.045102>.
33. Nonlinear control of tunneling through an epsilon-near-zero channel / David A. Powell [et al.] // *Physical Review B*. — 2009. — jun. — Vol. 79, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.79.245135>.

34. Broadband Epsilon-Near-Zero Perfect Absorption in the Near-Infrared / Junho Yoon [et al.] // *Scientific Reports*. — 2015. — aug. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep12788>.
35. Excitation of epsilon-near-zero resonance in ultra-thin indium tin oxide shell embedded nanostructured optical fiber / Khant Minn [et al.] // *Scientific Reports*. — 2018. — feb. — Vol. 8, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19633-2>.
36. Directional perfect absorption using deep subwavelength low-permittivity films / Ting S. Luk [et al.] // *Physical Review B*. — 2014. — aug. — Vol. 90, no. 8. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.90.085411>.
37. General Strategy for Broadband Coherent Perfect Absorption and Multi-wavelength All-optical Switching Based on Epsilon-Near-Zero Multilayer Films / Tae Young Kim [et al.] // *Scientific Reports*. — 2016. — mar. — Vol. 6, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep22941>.
38. Campione Salvatore, Brener Igal, Marquier Francois. Theory of epsilon-near-zero modes in ultrathin films // *Physical Review B*. — 2015. — mar. — Vol. 91, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.91.121408>.
39. Feng Simin, Halterman Klaus. Coherent perfect absorption in epsilon-near-zero metamaterials // *Physical Review B*. — 2012. — oct. — Vol. 86, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.86.165103>.
40. Near-Infrared Strong Coupling between Metamaterials and Epsilon-near-Zero Modes in Degenerately Doped Semiconductor Nanolayers / Salvatore Campione [et al.] // *ACS Photonics*. — 2016. — jan. — Vol. 3, no. 2. — P. 293–297. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5b00663>.
41. Experimental verification of epsilon-near-zero plasmon polariton modes in degenerately doped semiconductor nanolayers / Salvatore Campione [et al.] // *Optics Express*. — 2016. — aug. — Vol. 24, no. 16. — P. 18782. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.24.018782>.
42. Comparative Study of Second-Harmonic Generation from Epsilon-Near-Zero Indium Tin Oxide and Titanium Nitride Nanolayers Excited in the Near-Infrared Spectral Range / Antonio Capretti [et al.] // *ACS Photonics*. — 2015. — oct. — Vol. 2, no. 11. — P. 1584–1591. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5b00355>.
43. Enhanced Nonlinear Refractive Index in Near-Zero Materials / L. Caspani [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2016. — jun. — Vol. 116, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.116.233901>.
44. Epsilon-near-zero Al-doped ZnO for ultrafast switching at telecom wavelengths / N. Kinsey [et al.] // *Optica*. — 2015. — jul. — Vol. 2, no. 7. — P. 616. — URL: <https://doi.org/10.1364/optica.2.000616>.
45. Femtosecond optical polarization switching using a cadmium oxide-based perfect absorber / Yuanmu Yang [et al.] // *Nature Photonics*. — 2017. — may. — Vol. 11, no. 6. — P. 390–395. — URL: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2017.64>.
46. Electrically Tunable Epsilon-Near-Zero (ENZ) Metafilm Absorbers / Junghyun Park [et al.] // *Scientific Reports*. — 2015. — nov. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep15754>.

47. Gate-Tunable Conducting Oxide Metasurfaces / Yao-Wei Huang [et al.] // Nano Letters. — 2016. — sep. — Vol. 16, no. 9. — P. 5319–5325. — URL: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b00555>.
48. Nanoscale Conducting Oxide PlasMOSstor / Ho W. Lee [et al.] // Nano Letters. — 2014. — oct. — Vol. 14, no. 11. — P. 6463–6468. — URL: <https://doi.org/10.1021/nl502998z>.
49. Born Max, Wolf Emil. Principles of Optics. — Oxford : Pergamon Press, 1969. — 720 p.

Information about authors:

Konstantin Konstantinovich Altunin – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Elena Alekseevna Grishanina — Master’s student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: grishanina1998@list.ru

ORCID iD  0000-0003-4857-417X

Web of Science ResearcherID  ABH-1726-2020

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Исследование оптического пропускания нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала

К. К. Алтунин^{id}, Е. А. Шлёнкина^{id}¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 12 ноября 2020 года
После переработки 2 декабря 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Исследованы оптические свойства нанокompозитных сред, содержащих включения из тороидальных метаматериалов. Нанокompозитные среды, содержащие включения из тороидальных метаматериалов, являются базой для создания наноантенн и систем скрытной передачи информации. Численные исследования оптического пропускания границы раздела с нанокompозитной средой, содержащей включения из тороидальных метаматериалов показывают, что, изменяя параметры метаматериала, можно эффективно управлять оптическим пропусканием через границу раздела нанокompозитной средой с включениями из тороидального метаматериала. Разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитывать основные оптические параметры наноструктуры на основе тороидального метаматериала. В результате численных расчётов найдены значения параметров наноструктуры на основе тороидального метаматериала, позволяющие значительно увеличить оптическое пропускание наноструктуры на основе тороидального метаматериала. В результате численных расчётов обнаружено увеличение оптического пропускания границы раздела с нанокompозитной средой с включениями из тороидального метаматериала. Показано, что оптические и электродинамические свойства нанокompозита с тороидальными метаматериалами определяются не столько структурной организацией, сколько оптическими и электродинамическими характеристиками образующих его компонент.

Ключевые слова: метаматериал, тороидальный метаматериал, нанокompозит, нанокompозитная среда, оптическое пропускание, оптическое излучение, ближние продольные поля, длина волны излучения, численные расчёты

Введение

В работе планируется провести теоретическое исследование различных оптических свойств нанокompозитных сред, содержащих включения из тороидальных метаматериалов. Исследование оптических свойств нанокompозитных сред, содержащих систему наноразмерных включений из тороидальных метаматериалов, представляет собой актуальную задачу современной оптики твердотельных наноструктур.

¹E-mail: zmejka123@mail.ru

Нанокompозитные среды, содержащие систему включений различной формы из тороидальных метаматериалов, являются базой для создания новых оптоэлектронных наноразмерных приборов, устройств и систем на основе тороидальных метаматериалов с заданными оптическими, электронными и структурными свойствами, которые определяются размером, формой и упорядоченностью составляющих их наноразмерных включений, а так же факторам заполнения наноразмерными включениями. Оптические и электродинамические свойства искусственно созданной наноструктурной среды из тороидального метаматериала определяются не столько структурной организацией, сколько оптическими и электродинамическими характеристиками образующих его наноразмерных компонент включений из метаматериалов. При этом эффективные характеристики наноструктурной среды из тороидального метаматериала могут значительно отличаться как от характеристик наноразмерных включений, так и диэлектрика матрицы наноструктурной среды, принимая совершенно уникальные значения, которые не встречаются среди природных материалов. Примером таких экзотических характеристик можно назвать эффективные комплексные показатели преломления и поглощения, которые способны изменяться в широких пределах в оптическом диапазоне длин волн. Важное направление в изучении метаматериалов связано с конструированием различных наноструктур из метаматериалов с разными эффективными диэлектрическими проницаемостями и магнитными проницаемостями.

Наноструктуры из метаматериалов, структуры из чередующихся слоёв обычных объёмных материалов, анизотропных материалов, пористых наноматериалов и метаматериалов вызывают необычайный интерес в связи с приложениями в оптических и оптоэлектронных приборах, устройствах и системах.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью создания новых оптоэлектронных приборов на основе наноструктур из тороидальных метаматериалов с уникальными оптическими свойствами и повышенным быстродействием. В настоящее время активно развиваются технологии получения новых метаматериалов и наноматериалов.

Целью работы является теоретическое исследование оптических и электродинамических свойств тороидальных метаматериалов, находящихся во внешнем поле оптического излучения.

Задачи исследования можно сформулировать следующим образом:

1. написание обзора работ по оптическим свойствам планарных и тороидальных метаматериалов,
2. построение теоретической модели оптических процессов в тороидальных метаматериалах,
3. проведение численных расчётов эффективного показателя преломления и энергетического коэффициента оптического пропускания нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала.

Объектом исследования является тороидальный метаматериал.

Предметом исследования являются оптические характеристики наноструктурной среды с включениями из тороидальных метаматериалов.

Гипотеза исследования состоит в том, что можно эффективно управлять величиной оптического пропускания и отражения нанокompозитов с включениями из тороидальных метаматериалов в зависимости их от геометрической конструкции.

В качестве методов исследования используются теоретические и численные методы расчёта оптических характеристик тороидальных метаматериалов.

Обзор научных работ по физическим свойствам планарных и тороидальных метаматериалов

Тороидальные мультиполи являются слагаемыми высокого порядка, присутствующими в стандартном мультипольном разложении потенциалов и напряжённостей электромагнитного поля, но в электрическом дипольном приближении они обычно игнорируются из-за их относительно слабой связи с электромагнитными полями.

В последнее время теоретически исследуются полностью диэлектрические метаматериалы специального класса, представляющие собой простую электромагнитную систему, поддерживающую тороидальные дипольные возбуждения в терагерцовой части электромагнитного спектра. В резонансном пропускании и отражении от тороидальных метаматериалов преобладает тороидальное дипольное рассеяние, пренебрежение которым приведёт к неправильной интерпретации макроскопического отклика метаматериалов. Из-за уникальной конфигурации поля тороидального режима рассматриваемые метаматериалы могут служить платформой для зондирования или усиления поглощения света и оптических нелинейностей [1].

В работе [2] исследовано возбуждение тороидальных мультиполей в метаматериалах для оптимизации тороидальных возбуждений в плоском метаматериале, состоящем из асимметричных расщепленных кольцевых резонаторов. Установлено, что рассеивающая способность тороидального диполя может быть заметно усилена регулировкой такого характеристического параметра как асимметричный фактор. Оптимизация при возбуждении тороидального мультиполя даёт возможность потенциальных применений в маломощной нелинейной обработке субволнового масштаба и чувствительных фотонных приложениях [2].

Анализ оптических свойств плоских метаматериалов путём расчёта мультипольных моментов составляющих их метаатомов выполнен в [3]. В [3] на основе вычисления мультипольных моментов метаатомов, образующих планарный метаматериал, предложен новый метод количественного определения его оптических и поляризационных свойств. Эффективность метода продемонстрирована на примере планарного метаматериала, состоящего из H -образных наночастиц.

Тороидальный диполь представляет собой своеобразное электромагнитное возбуждение, которое не может быть представлено в терминах стандартных электрических и магнитных мультиполей. В [4] показано, что статический тороидальный диполь приводит к нарушению чётности в атомных спектрах и многим другим необычным электромагнитным явлениям. Существование электромагнитных резонансов тороидальной природы экспериментально было продемонстрировано лишь недавно, сначала в микроволновых метаматериалах, а затем на оптических частотах, где они могли быть важны при спектроскопическом анализе широкого класса сред с составляющими тороидальной симметрии, такими как сложные органические молекулы, фуллерены. Несмотря на экспериментальный прогресс в изучении тороидальных резонансов, прямая связь между микроскопическими тороидальными возбуждениями и характеристиками макроскопического рассеяния среды пока не установлена. Чтобы устранить этот существенный пробел в электромагнитной теории, разработан аналитический подход для расчета пропускающей способности и отражательной способности тонких слоёв материалов, которые проявляют тороидальные дипольные возбуждения [4, 5].

В [6] экспериментально продемонстрирован тороидальный дипольный отклик в метаматериалах на основе кластеров цилиндрических диэлектрических частиц в микроволновом диапазоне частот. Вместо дорогих керамических элементов была использована дистиллированная вода с диэлектрической проницаемостью при комнатной температуре, при этом тангенс диэлектрических потерь не велик на частотах до 4 ГГц, что

открывает возможность применения в оптике с низкоиндексными диэлектриками [6].

В [7] обсуждается новый механизм резонансной электромагнитной прозрачности, который даёт очень узкие изолированные симметричные Лоренцевы линии излучения в тороидальных метаматериалах в условиях включения сильно резонансных взаимодействий, что позволяет значительно улучшить функциональные возможности многих электромагнитных устройств от устройств на фотонных кристаллах и оптических волноводах с мезоскопическими кольцевыми резонаторами до наноразмерных плазмонных и метаматериальных систем, проявляющих интерференционные эффекты, сходные с электромагнитно-индуцированной прозрачностью.

В оптике спектроскопия плазмонно-резонансного поля с поляризационными зондирующими полями эффективно применима для анализа больших биомолекул с хиральными свойствами [8].

На основе метаматериалов уже созданы или разрабатываются суперлинзы и гиперлинзы, сенсоры ближнего поля, идеальные детекторы фотонов и целый ряд других устройств [9–11].

В статье [12] продемонстрирован метод, основанный на фемтосекундной лазерно-индуцированной прозрачности для высокопроизводительной и эффективной обработки периодических многослойных плазмонных метаматериалов.

В [13–16] разрабатываются метаматериалы, в которых показатель преломления достигает квази нулевых и нулевых значений лишь в очень узких диапазонах длин волн.

Подавление отражения света от плоской поверхности было важной технологической проблемой в последние десятилетия. Методы подавления отражения основаны на различных элементах, таких как простые диэлектрические слои четвертьволнового диапазона, наноструктурированные поверхности для захвата света, слои с градиентным индексом и другие [17]. Различные преимущества плазмонных наноструктур были обнаружены недавно [18], и большинство из них связаны с возбуждением интенсивного локализованного поверхностного плазмонного резонанса в металлических наноструктурах и сильным подавлением отражения света в окрестности резонанса [19]. Несмотря на активные исследования по этим темам и большие перспективы применения, практическое использование плазмонных наночастиц всё ещё затруднено многими проблемами, например, необходимо уменьшить большие омические потери плазмонных материалов, которые подавляют резонансы наночастиц, или преодолеть поверхностное окисление, который изменяет оптические свойства наноструктур [20]. Кроме того, локализованный поверхностный плазмонный резонанс зависит от формы конкретной наночастицы, а не от её размера и расстояния между частицами, что делает настройку оптических свойств проблематичной [21]. С недавнего времени полностью диэлектрическая фотоника была предложена в качестве эффективной альтернативы плазмонике [17, 22, 23]. Концепция основана на наноструктурах с высоким показателем преломления, которые наряду с электрическим обладают магнитным резонансом Ми и позволяют одновременно контролировать магнитные и электрические компоненты света на наномасштабе [24]. Кремний рассматривается как перспективный материал для полностью диэлектрической фотоники, имеющий один из максимально возможных показателей преломления в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн и относительно небольшие оптические потери одновременно [25]. Спектр резонанса высокоиндексных структур определяется геометрическими параметрами наряду с оптическими свойствами и, следовательно, может быть эффективно настроен в процессе изготовления [26]. Кроме того, внимание исследователей в последнее время привлекают важные особенности наночастиц с высоким индексом: на определенной длине волны они обладают высокой направленностью диаграммы направленности [27, 28], что приводит к сильному рассеянию вперед и назад. Такое поведение было предсказано для частиц с одинаковыми магнитными и

электрическими дипольными моментами Керкером и его коллегами [29], в то время как такие частицы часто называют элементом Гюйгенса [30–34]. Оптические метаповерхности были разработаны в качестве принципиально новой концепции для передовых технологий получения субволновых резонансных наноструктур. Однако потери на отражение и поглощение, а также низкая эффективность преобразования поляризации представляют собой фундаментальное препятствие для достижения высокой эффективности передачи, необходимой для практического применения. Помимо возможных применений в фотовольтаике, элементы Гюйгенса предлагаются в качестве основного элемента метаповерхностей и будущих плоских фотонных устройств для эффективных световых манипуляций на наноуровне [35]. В статье [35] продемонстрированы высокоэффективные полностью диэлектрические метаповерхности с использованием массивов кремниевых нанодисков в качестве метаатомов. Основные характеристики источников Гюйгенса состоят в спектрально перекрывающихся скрещенных электрических и магнитных дипольных резонансах одинаковой силы. Основываясь на полнофазном покрытии в сочетании с высокой эффективностью пропускания, все диэлектрические поверхности Гюйгенса могут стать новой парадигмой для плоских оптических устройств, включая управление лучом, формирование луча и фокусировку, а также голографию и управление дисперсией. В работе [36] рассматриваются основные положения и последние достижения в области перестраиваемых диэлектрических метаповерхностей. В частности, обсуждаются механизмы настройки для метаповерхностей диэлектрика, в том числе изменение геометрии поверхности метазона, изменение материала резонаторов и их окружения. Представлено несколько примеров функциональных перестраиваемых метаустройств на основе диэлектрической метаповерхности, в том числе линзы с перестраиваемым фокусным расстоянием и переключаемые дефлекторы луча.

Проведённый анализ опубликованных за последнее время работ по исследованиям планарных и тороидальных метаматериалов доказывает научную актуальность и огромную практическую значимость затронутых проблем в современной оптике и оптоэлектронике. Это объясняется, прежде всего, тем, что новые материалы и метаматериалы играют особую роль в быстро развивающихся отраслях науки и нанотехнологии, специализирующихся на изучении объектов (существующих в природе, а чаще искусственно приготовленных), для которых принципиально важно наличие наноразмерных структурных блоков. Выявлен ряд теоретических подходов, перспективных с точки зрения исследования и предсказания оптических свойств нанокompозитов на основе планарных и тороидальных метаматериалов.

Теоретическая модель оптических явлений в нанокompозите с включениями из тороидального метаматериала

Для описания характеристик нанокompозитной среды с включениями из тороидальных метаматериалов используем приближение эффективной среды. Эффективная диэлектрическая проницаемость ε нанокompозитной среды даётся классической формулой Максвелла–Гарнетта:

$$\frac{\varepsilon_i - \varepsilon}{\varepsilon_i + 2\varepsilon} = \frac{\varepsilon_m - \varepsilon}{\varepsilon_m + 2\varepsilon} f_1, \quad (1)$$

где f_1 – фактор заполнения, ε_m и ε_i – диэлектрическая проницаемость материала матрицы и системы наноразмерных включений соответственно. Эффективная диэлектрическая проницаемость μ нанокompозитной среды даётся формулой:

$$\frac{\mu_i - \mu}{\mu_i + 2\mu} = \frac{\mu_m - \mu}{\mu_m + 2\mu} f_1, \quad (2)$$

где μ_m и μ_i – диэлектрическая проницаемость материала матрицы и системы наноразмерных включений соответственно.

Рассмотрим тороидальную элементарную ячейку. Следовательно, заполняющая фракция f_1 равна отношению площади поперечного сечения материала матрицы к элементарной ячейке.

Метаматериалы являются сильно диспергирующими средами, в которых резко проявляется нелинейная зависимость частоты от диэлектрической ϵ и магнитной проницаемостей μ , а следовательно, от показателя преломления.

Электромагнитные поля излучения, ассоциированного с тороидальным моментом, находятся по формулам

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \left(-i\frac{\omega}{c} \frac{3(\mathbf{T} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} - \mathbf{T}}{R^3} + \frac{\omega^2}{c^2} \frac{3(\mathbf{T} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} - \mathbf{T}}{R^2} + i\frac{\omega^3}{c^3} \frac{\mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{T})}{R} \right) \times \exp(-i\omega t + ikR) + c.c. , \quad (3)$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \left(-\frac{\omega^2}{c^2} \frac{[\mathbf{T}, \mathbf{n}]}{R^2} - i\frac{\omega^3}{c^3} \frac{[\mathbf{T}, \mathbf{n}]}{R} \right) \exp(-i\omega t + ikR) + c.c. \quad (4)$$

Интенсивность излучения в мультипольном разложении имеет вид

$$I = \frac{2\omega^4}{3c^3} |\mathbf{p}|^2 + \frac{2\omega^4}{3c^3} |\boldsymbol{\mu}|^2 + \frac{2\omega^6}{3c^5} |\mathbf{T}|^2 + \frac{\omega^6}{5c^5} \sum |\mathbf{Q}^{(e)}|^2 + \frac{\omega^6}{40c^5} \sum |\mathbf{Q}^{(m)}|^2 + o(\omega) . \quad (5)$$

Магнитный квадрупольный момент

$$M^{ik} = -\frac{4}{3} \mathbf{T} \delta^{ik} , \quad (6)$$

где введён вектор \mathbf{T} называемый тороидальностью или анапольным моментом

$$\mathbf{T} = \frac{1}{10c} \int_V (\mathbf{r}(\mathbf{r}\mathbf{j}) - 2r^2\mathbf{j}) d\mathbf{r} = \frac{1}{2} \int_V [\mathbf{r}, \mathbf{M}] d\mathbf{r} , \quad (7)$$

причём

$$\mathbf{j} = c\nabla \times \mathbf{M} , \quad (8)$$

где \mathbf{j} – вектор плотности электрического тока, \mathbf{M} – вектор намагниченности среды, c – скорость света в вакууме.

Диэлектрическая проницаемость метаматериала равна

$$\epsilon_p(\omega) = 1 + \frac{F_e \omega_{pe}^2}{\omega_{0e}^2 - \omega^2 - i\omega\gamma_e} . \quad (9)$$

Магнитная проницаемость метаматериала равна

$$\mu_p(\omega) = 1 + \frac{F_m \omega_{pm}^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega\gamma_m} . \quad (10)$$

Магнитный момент ячейки материала находится по формуле

$$\boldsymbol{\mu} = \pi d^2 I \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{R}{d} \right)^2 \right] \mathbf{n} , \quad (11)$$

где d – радиус общей формы тороида, R – радиус образующей окружности круглого сечения тороида. Циклическая частота ячейки из тороидального метаматериала находится по формуле

$$\omega_T = \frac{4c(d+R)}{\pi\sqrt{Rd^3/2}} . \quad (12)$$

Для проведения численных расчётов характеристик нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала выбраны следующие параметры материала ячейки из тороидального метаматериала: $\omega_0 = 0.07\omega_T$, $\omega_{pe} = \omega_{pm} = 1.02\sqrt{2}\omega_0$, $\gamma_e = 5.5 \cdot 10^{-4}\omega_0$, $\gamma_m = 5.5 \cdot 10^{-4}\omega_0$.

Электрические свойства системы включений нанокompозитной среды, содержащей включения в виде тороидов, моделируются тензором эффективной диэлектрической проницаемости

$$\hat{\varepsilon}_i = \varepsilon_p \left(\hat{\delta} + (\varepsilon_T - 1) \mathbf{nn} \right), \quad (13)$$

$$\varepsilon_T = 1 - \frac{k_{pe}^2}{k_0^2 - k_z^2}, \quad (14)$$

где $\hat{\delta}$ – единичная матрица, $k_0 = \omega/c$.

Дисперсионное уравнение для описания электрических свойств нанокompозитной среды с включениями из тороидальных метаматериалов в этом случае имеет вид

$$k_0^2 \varepsilon_i \varepsilon_p - k_0^2 \frac{\varepsilon_i}{g_{Te}} (1 + \beta_{Te} \varepsilon_i) - \varepsilon_p \left(\frac{\omega_0^2}{c^2} + i \frac{\gamma_e}{c} k_0 \right) = 0, \quad (15)$$

где

$$\beta_{Te} = \frac{\omega^4 \varepsilon_p}{\omega_T^2 \left(\omega^2 \left(1 + \frac{\omega^2}{3\omega_T^2} \frac{\varepsilon_p}{g_{Te}} \right) - \omega_0^2 + i \gamma_e \omega \right)}. \quad (16)$$

Дисперсионное уравнение для диэлектрической проницаемости системы ε_i включений можно переписать в следующем виде

$$\beta_{Te} \varepsilon_i^2 - (\varepsilon_p g_{Te} - 1) \varepsilon_i + \varepsilon_p g_{Te} \left(\frac{\omega_0^2}{\omega^2} + i \frac{\gamma_e}{\omega} \right) = 0, \quad (17)$$

где

$$g_{Te} = 1 + \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2 - \omega_{pe}^2} + \frac{\varepsilon_p \omega^4}{\omega_T^2 \left(\omega^2 \left(1 + \frac{\omega^2}{3\omega_T^2} \right) - \omega_0^2 \right)}. \quad (18)$$

Уравнение (17) представляет собой квадратное уравнение относительно переменной ε_i и решается стандартным образом. Решение уравнения (17) записывается в виде

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2\beta_{Te}} \left(\varepsilon_p g_{Te} + \sqrt{(\varepsilon_p g_{Te} - 1)^2 - 4\beta_{Te} \varepsilon_p g_{Te} \left(\frac{\omega_0^2}{\omega^2} + i \frac{\gamma_e}{\omega} \right)} \right), \quad (19)$$

где оставлен положительный знак перед квадратным корнем в силу физического смысла решения.

Магнитные свойства системы включений нанокompозитной среды, содержащей включения в виде тороидов, моделируются тензором эффективной магнитной проницаемости

$$\hat{\mu}_i = \mu_p \left(\hat{\delta} + (\mu_T - 1) \mathbf{nn} \right), \quad (20)$$

$$\mu_T = 1 - \frac{k_{pm}^2}{k_0^2 - k_z^2}, \quad (21)$$

где $\hat{\delta}$ – единичная матрица, $k_0 = \omega/c$.

Дисперсионное уравнение для описания магнитных свойств нанокompозитной среды с включениями из тороидальных метаматериалов в этом случае имеет вид

$$k_0^2 \mu_i \mu_p - k_0^2 \frac{\mu_i}{g_{Tm}} (1 + \beta_{Tm} \mu_i) - \mu_p \left(\frac{\omega_0^2}{c^2} + i \frac{\gamma_m}{c} k_0 \right) = 0, \quad (22)$$

где

$$\beta_{Tm} = \frac{\omega^4 \mu_p}{\omega_T^2 \left(\omega^2 \left(1 + \frac{\omega^2 \mu_p}{3\omega_T^2 g_{Tm}} \right) - \omega_0^2 + i\gamma_m \omega \right)}. \quad (23)$$

Дисперсионное уравнение для магнитной проницаемости системы μ_i включений можно переписать в следующем виде

$$\beta_{Tm} \mu_i^2 - (\mu_p g_{Tm} - 1) \mu_i + \mu_p g_{Tm} \left(\frac{\omega_0^2}{\omega^2} + i \frac{\gamma_m}{\omega} \right) = 0. \quad (24)$$

где

$$g_{Tm} = 1 + \frac{\omega_{pm}^2}{\omega^2 - \omega_{pm}^2} + \frac{\mu_p \omega^4}{\omega_T^2 \left(\omega^2 \left(1 + \frac{\omega^2}{3\omega_T^2} \right) - \omega_0^2 \right)}. \quad (25)$$

Уравнение (24) представляет собой квадратное уравнение относительно переменной μ_i и решается стандартным образом. Решение уравнения (24) записывается в виде

$$\mu_i = \frac{1}{2\beta_{Tm}} \left(\mu_p g_{Tm} + \sqrt{(\mu_p g_{Tm} - 1)^2 - 4\beta_{Tm} \mu_p g_{Tm} \left(\frac{\omega_0^2}{\omega^2} + i \frac{\gamma_m}{\omega} \right)} \right), \quad (26)$$

где оставлен положительный знак перед квадратным корнем в силу физического смысла решения.

Из уравнения (1) эффективная диэлектрическая проницаемость нанокompозита с включениями из тороидальных метаматериалов может быть выражена в виде

$$\varepsilon = \varepsilon_m \frac{\varepsilon_i + \varepsilon_m + 2f_1 (\varepsilon_i - \varepsilon_m)}{\varepsilon_i + \varepsilon_m - f_1 (\varepsilon_i - \varepsilon_m)} \quad (27)$$

или

$$\varepsilon = \varepsilon_m \left(1 + \frac{3f_1 (\varepsilon_i - \varepsilon_m)}{\varepsilon_i + \varepsilon_m - f_1 (\varepsilon_i - \varepsilon_m)} \right). \quad (28)$$

Из уравнения (2) эффективная магнитная проницаемость нанокompозита с включениями из тороидальных метаматериалов может быть выражена в виде

$$\mu = \mu_m \frac{\mu_i + \mu_m + 2f_1 (\mu_i - \mu_m)}{\mu_i + \mu_m - f_1 (\mu_i - \mu_m)} \quad (29)$$

или

$$\mu = \mu_m \left(1 + \frac{3f_1 (\mu_i - \mu_m)}{\mu_i + \mu_m - f_1 (\mu_i - \mu_m)} \right). \quad (30)$$

Квадрат эффективного показателя преломления нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала равен

$$n^2(\omega) = \varepsilon(\omega) \mu(\omega). \quad (31)$$

Квадрат эффективного поверхностного импеданса нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала равен

$$\zeta^2(\omega) = \frac{\mu(\omega)}{\varepsilon(\omega)}, \quad (32)$$

где $\varepsilon(\omega)$ – эффективная диэлектрическая проницаемость нанокompозитной среды, $\mu(\omega)$ – эффективная магнитная проницаемость нанокompозитной среды.

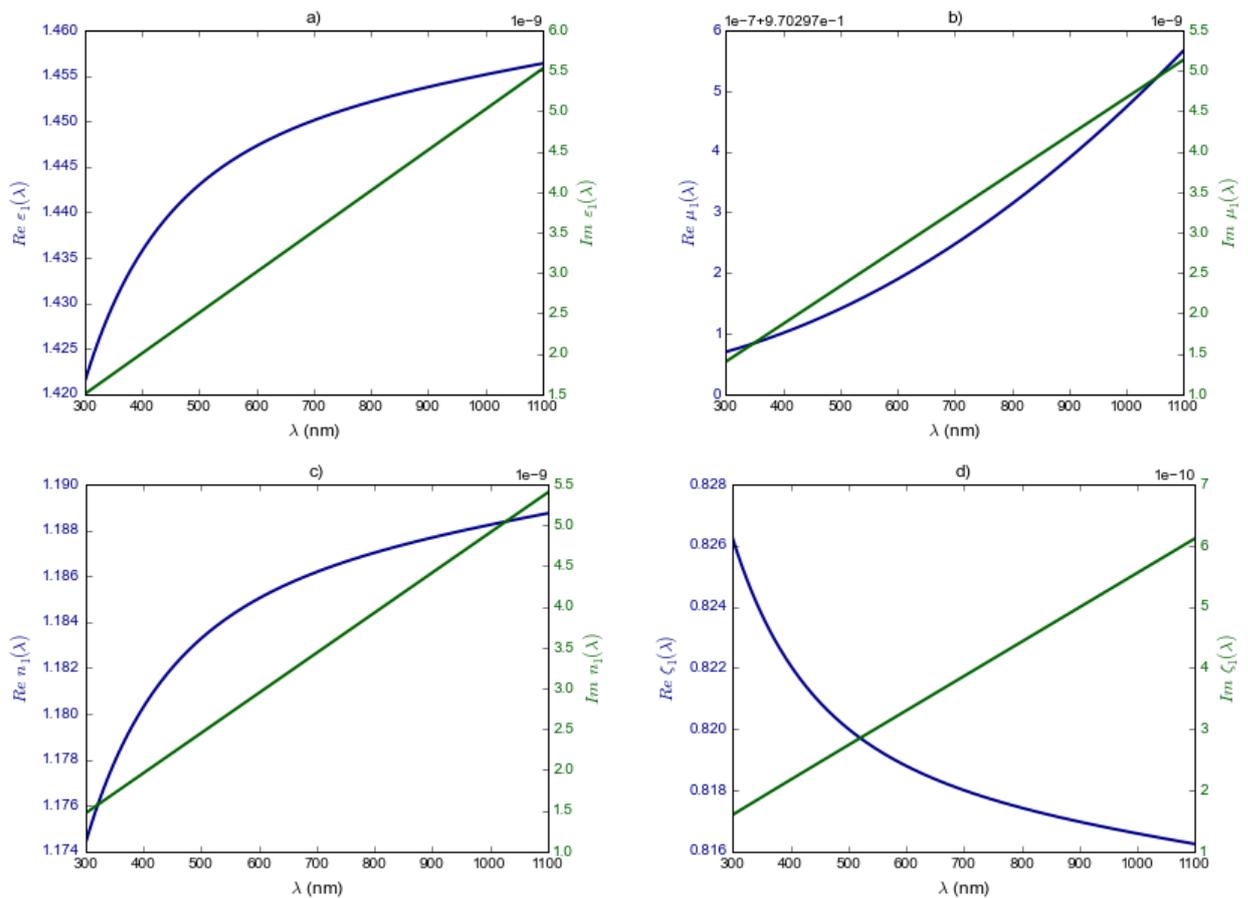


Рис. 1. Зависимость эффективной диэлектрической проницаемости (а), эффективной магнитной проницаемости (b), эффективного показателя преломления (с), эффективного поверхностного импеданса (d) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$.

Будем рассчитывать оптическое пропускание границы раздела с тороидальным метаматериалом, находящемся во внешнем поле непрерывного оптического излучения. Наноструктуры с включениями из тороидальных метаматериалов, структуры из чередующихся слоёв обычных материалов и метаматериалов вызывают необычайный интерес в связи с приложениями в оптических и оптоэлектронных приборах и системах.

На рис. 1 изображена зависимость эффективной диэлектрической проницаемости (а), эффективной магнитной проницаемости (b), эффективного показателя преломления (с), эффективного поверхностного импеданса (d) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$.

На рис. 2 изображена зависимость мнимой части эффективной диэлектрической проницаемости от действительной части эффективной диэлектрической проницаемости (а), мнимой части эффективной магнитной проницаемости от действительной части эффективной магнитной проницаемости (b), мнимой части эффективного показателя преломления от действительной части эффективного показателя преломления (с), мнимой части эффективного поверхностного импеданса от действительной части эффективного поверхностного импеданса (d) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор

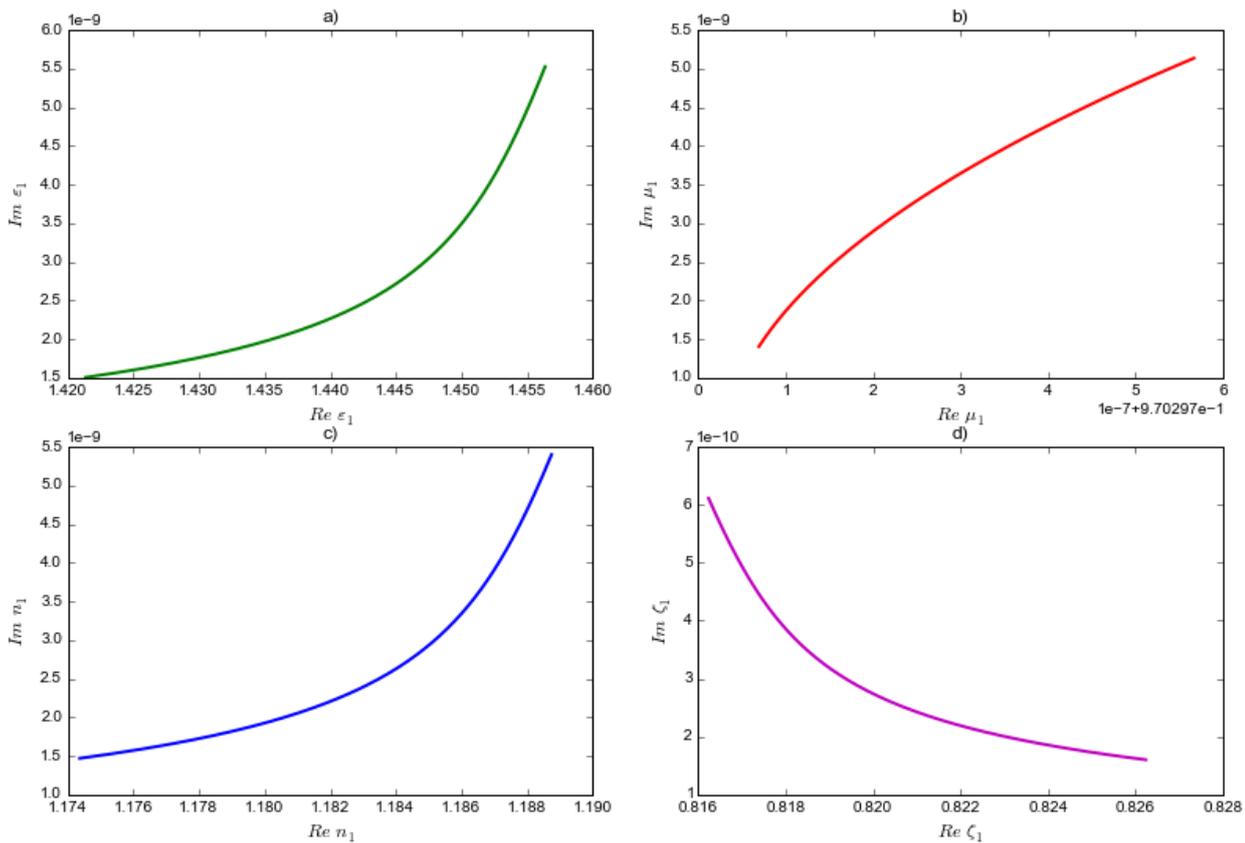


Рис. 2. Зависимость мнимой части эффективной диэлектрической проницаемости от действительной части эффективной диэлектрической проницаемости (а), мнимой части эффективной магнитной проницаемости от действительной части эффективной магнитной проницаемости (б), мнимой части эффективного показателя преломления от действительной части эффективного показателя преломления (с), мнимой части эффективного поверхностного импеданса от действительной части эффективного поверхностного импеданса (д) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$.

заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$.

На рис. 3 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

На рис. 4 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$.

На рис. 5 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального ме-

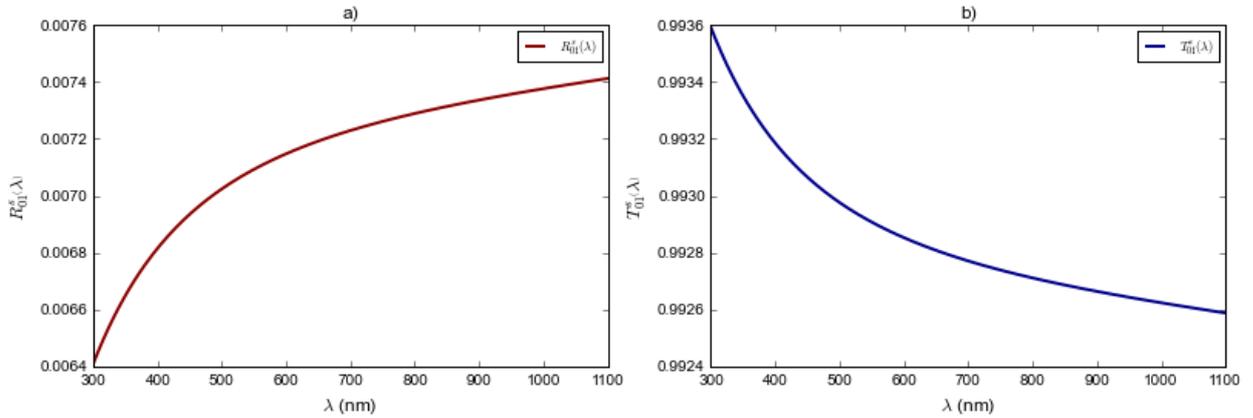


Рис. 3. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокомпозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокомпозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

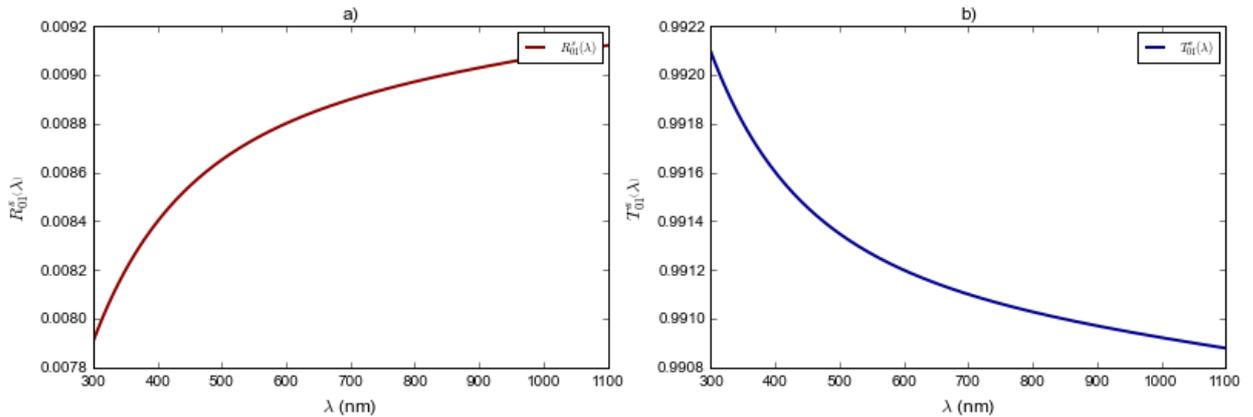


Рис. 4. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокомпозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокомпозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$.

таматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокомпозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

На рис. 6 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокомпозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокомпозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$.

На рис. 7 изображена зависимость эффективной диэлектрической проницаемости (а), эффективной магнитной проницаемости (б), эффективного показателя преломления (с), эффективного поверхностного импеданса (д) для нанокомпозита с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры торои-

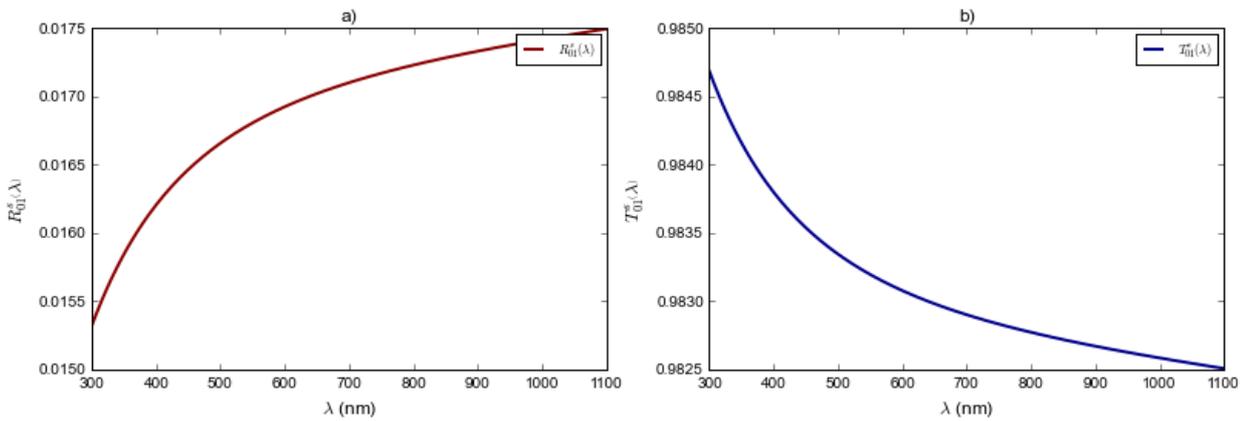


Рис. 5. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

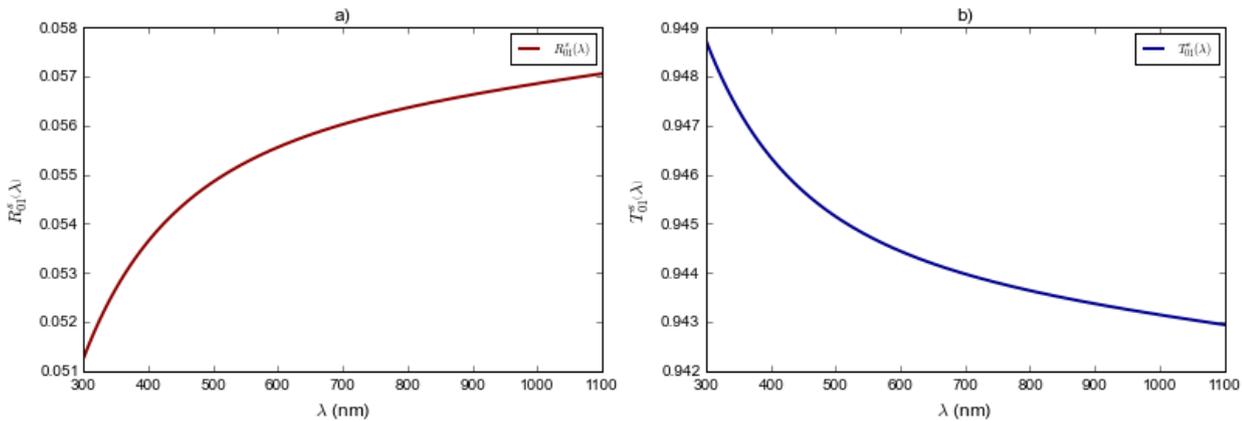


Рис. 6. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 25$ нм, $d = 70$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 3\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$.

дального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$.

На рис. 8 изображена зависимость мнимой части эффективной диэлектрической проницаемости от действительной части эффективной диэлектрической проницаемости (а), мнимой части эффективной магнитной проницаемости от действительной части эффективной магнитной проницаемости (б), мнимой части эффективного показателя преломления от действительной части эффективного показателя преломления (с), мнимой части эффективного поверхностного импеданса от действительной части эффективного поверхностного импеданса (д) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$.

На рис. 9 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического от-

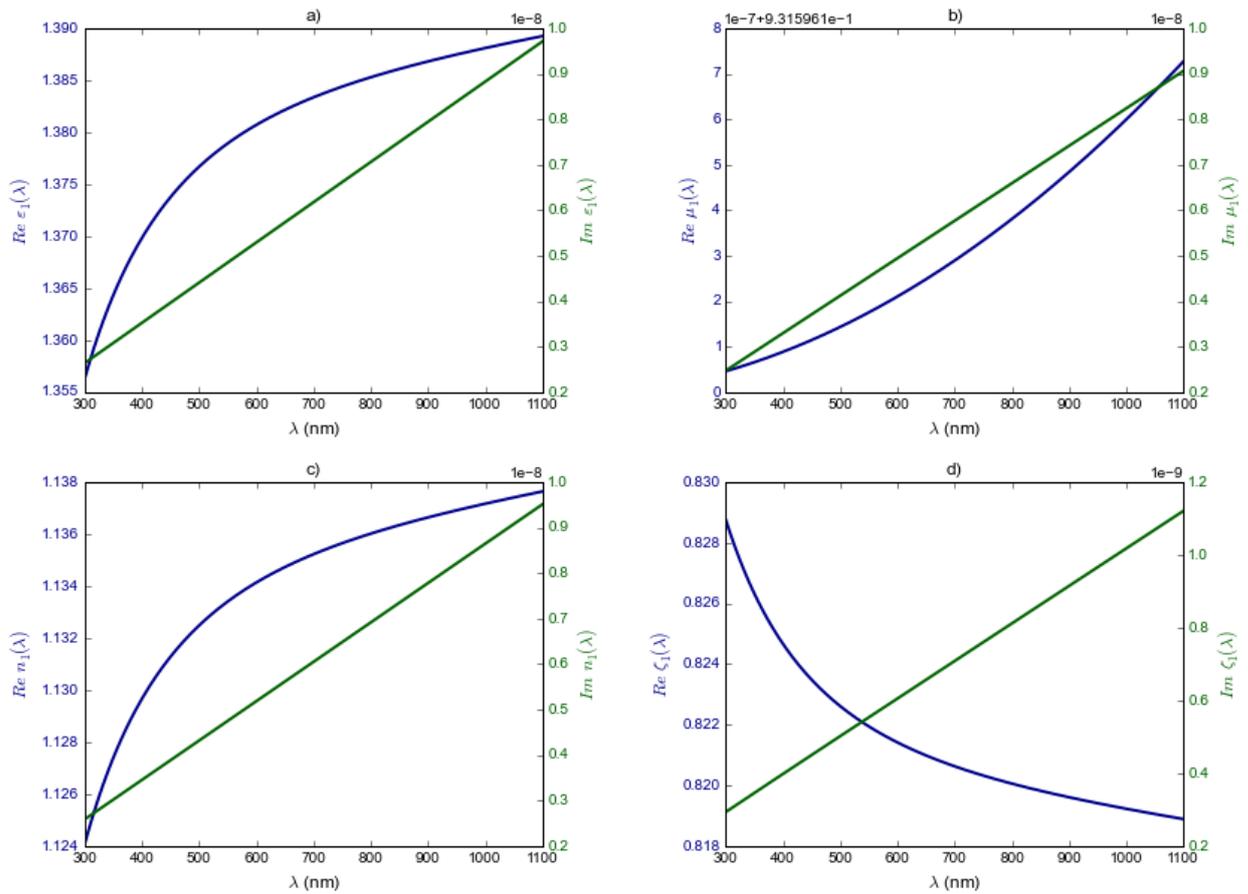


Рис. 7. Зависимость эффективной диэлектрической проницаемости (а), эффективной магнитной проницаемости (б), эффективного показателя преломления (с), эффективно-го поверхностного импеданса (д) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$.

ражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

На рис. 10 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$.

На рис. 11 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

На рис. 12 изображена зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из торо-

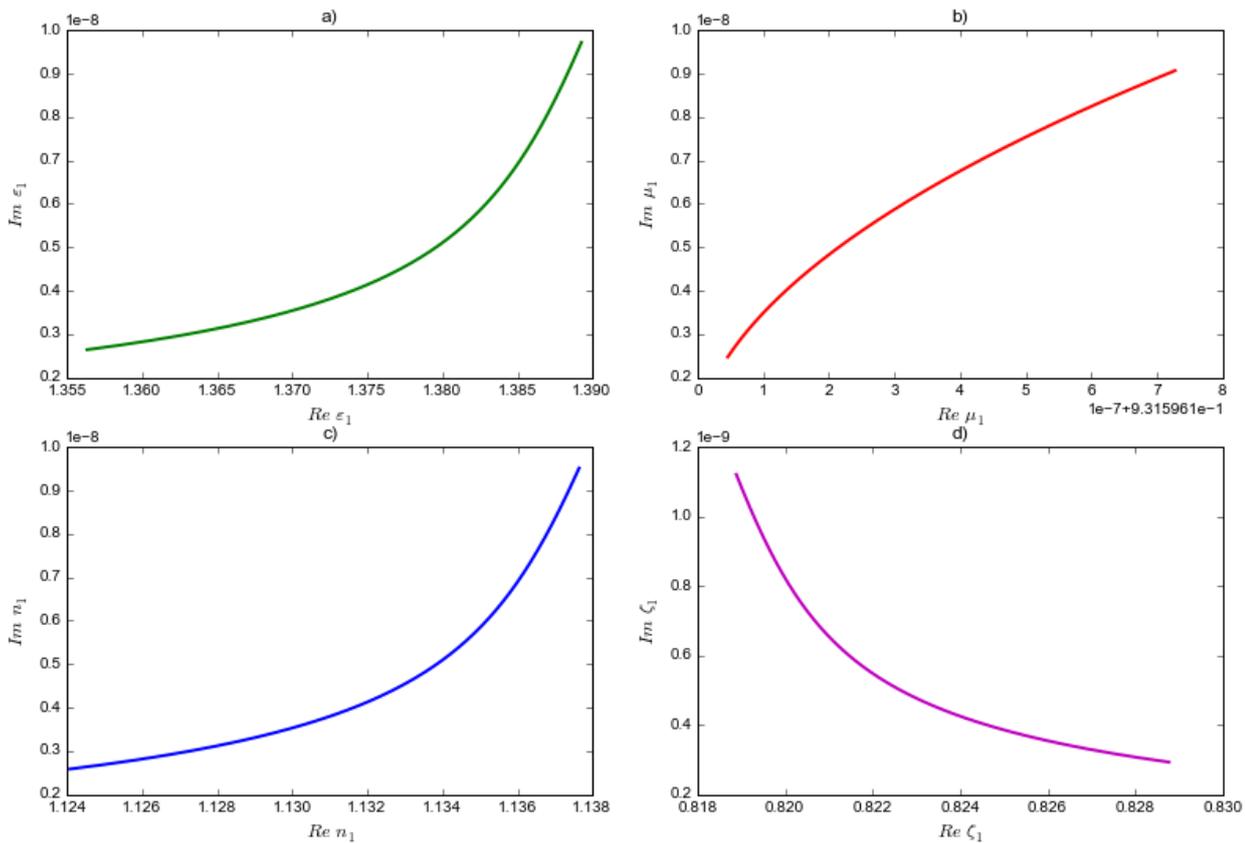


Рис. 8. Зависимость мнимой части эффективной диэлектрической проницаемости от действительной части эффективной диэлектрической проницаемости (а), мнимой части эффективной магнитной проницаемости от действительной части эффективной магнитной проницаемости (б), мнимой части эффективного показателя преломления от действительной части эффективного показателя преломления (с), мнимой части эффективного поверхностного импеданса от действительной части эффективного поверхностного импеданса (д) для нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$.

идального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$.

Численные исследования оптического пропускания границы раздела с тороидальным метаматериалом показывают, что, изменяя параметры метаматериала, можно эффективно управлять оптическим пропусканием через границу раздела с тороидальным метаматериалом. При попытках теоретического описания оптических свойств метаматериалов возникают значительные трудности, обусловленные сложной формой составляющих их наночастиц, а также тем, что существенную роль на наномасштабах играют ближние продольные поля, описать которые аналитически в большинстве случаев не представляется возможным.

Заключение

В работе проведено теоретическое исследование оптических свойств нанокompозитных сред, содержащих включения из тороидальных метаматериалов. Нанокompозитные среды, содержащие включения из тороидальных метаматериалов, являются базой для создания нанополупроводников и систем скрытной передачи информации. Показано, что оп-

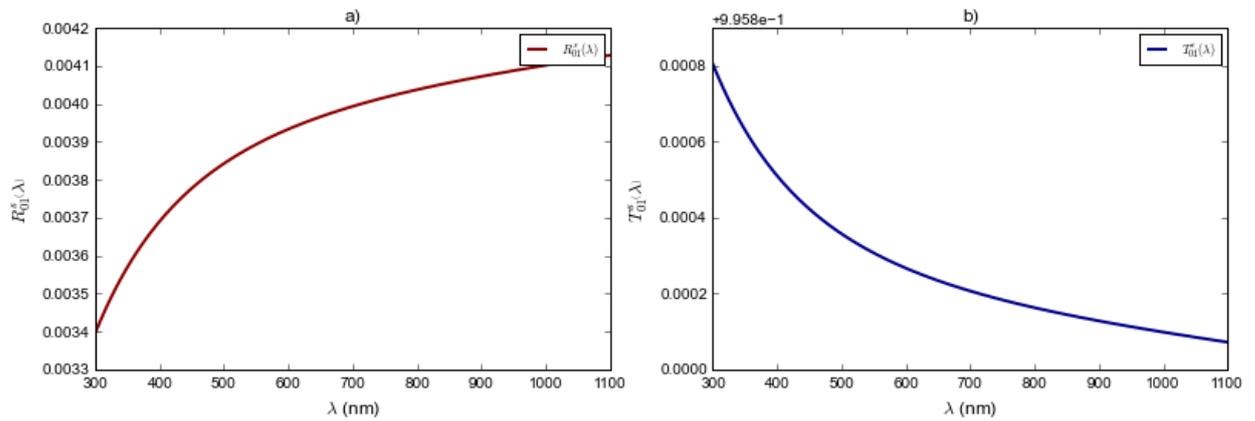


Рис. 9. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокомпозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокомпозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

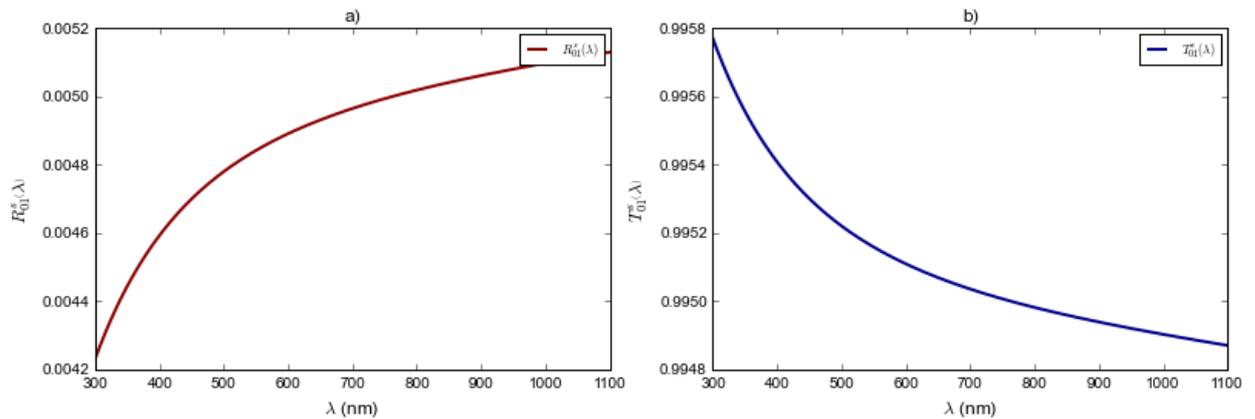


Рис. 10. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокомпозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокомпозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$.

тические и электродинамические свойства нанокомпозита с тороидальными метаматериалами определяются не столько структурной организацией, сколько оптическими и электродинамическими характеристиками образующих его компонент.

По результатам анализа работ по тороидальным материалам выбран оптимальный диапазон параметров для увеличения оптического пропускания наноструктуры на основе тороидального метаматериала. Разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитывать основные оптические параметры наноструктуры на основе тороидального метаматериала. В результате численных расчётов найдены значения параметров наноструктуры на основе тороидального метаматериала, позволяющие значительно увеличить оптическое пропускание. В результате численных расчётов обнаружено увеличение оптического пропускания границы раздела с нанокомпозитной средой, содержащей наноразмерные включения из тороидальных метаматериалов.

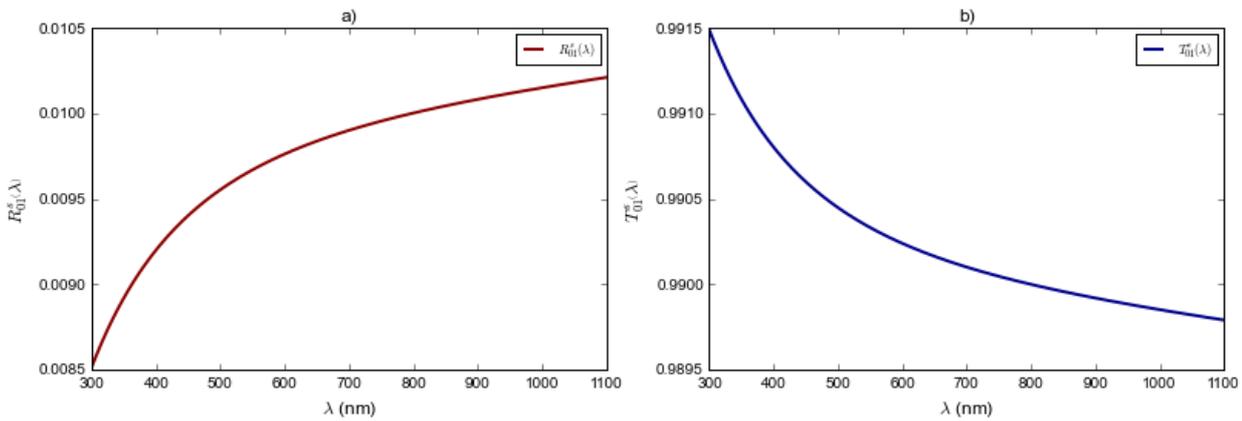


Рис. 11. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

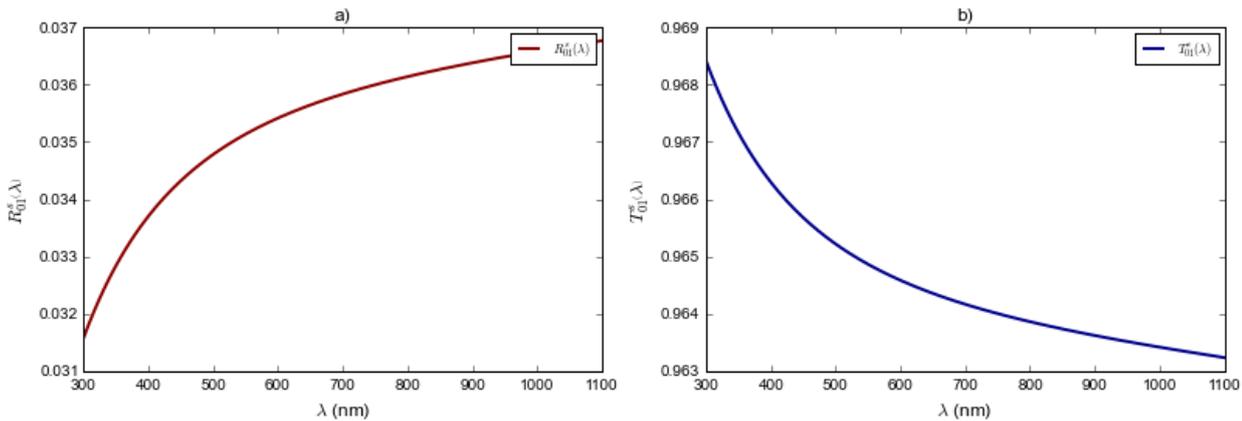


Рис. 12. Зависимость энергетического коэффициента оптического отражения (а) и энергетического коэффициента оптического пропускания (б) границы раздела воздуха и полубесконечной нанокompозитной среды с включениями из тороидального метаматериала от длины волны излучения. Параметры тороидального метаматериала: $R = 40$ нм, $d = 120$ нм. Фактор заполнения нанокompозита включениями $f_1 = 7\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 60^\circ$.

Итак, в работе решена граничная задача взаимодействия оптической волны с границей раздела нанокompозита с включениями из тороидального метаматериала. Обнаружено увеличение оптического пропускания границы раздела с тороидальным метаматериалом. При попытках теоретического описания оптических свойств нанокompозитов с включениями из тороидальных метаматериалов возникают значительные трудности, обусловленные сложной формой включений, а также тем, что существенную роль на наномасштабах играют ближние продольные поля, описать которые аналитически в большинстве случаев не представляется возможным.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что можно эффективно управлять величиной оптического пропускания и отражения нанокompозитов с включениями из тороидальных метаматериалов в зависимости их от геометрической конструкции, подтверждена полностью.

В работе проведено исследование нанокompозитов, содержащих включения из тороидальных метаматериалов, при помощи теоретических методов оптики наноструктур и численных методов, применяемых для вычисления коэффициентов оптического пропускания и отражения нанокompозитов, содержащих включения из тороидальных метаматериалов.

Список использованных источников

1. Dielectric Metamaterials with Toroidal Dipolar Response / Alexey A. Basharin [et al.] // *Physical Review X*. — 2015. — mar. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevx.5.011036>.
2. Achieving a high- Q response in metamaterials by manipulating the toroidal excitations / Yu. Fan [et al.] // *Physical Review A*. — 2018. — mar. — Vol. 97, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.97.033816>.
3. Analysis of optical properties of planar metamaterials by calculating multipole moments of their constituent meta-atoms / A. A. Pavlov [et al.] // *Quantum Electronics*. — 2013. — may. — Vol. 43, no. 5. — P. 496–501. — URL: <https://doi.org/10.1070/qe2013v043n05abeh015057>.
4. Savinov V., Fedotov V. A., Zheludev N. I. Toroidal dipolar excitation and macroscopic electromagnetic properties of metamaterials // *Physical Review B*. — 2014. — . — Vol. 89, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.89.205112>.
5. Toroidal photonic metamaterial / V. Savinov [et al.] // *Conference on Lasers and Electro-Optics 2012*. — OSA, 2012. — URL: <https://doi.org/10.1364/qels.2012.qm2e.5>.
6. Stenishchev I. V., Basharin A. A. Toroidal response in all-dielectric metamaterials based on water // *Scientific Reports*. — 2017. — aug. — Vol. 7, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07399-y>.
7. Resonant Transparency and Non-Trivial Non-Radiating Excitations in Toroidal Metamaterials / V. A. Fedotov [et al.] // *Scientific Reports*. — 2013. — oct. — Vol. 3, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep02967>.
8. Hollander E., Kamenetskii E. O., Shavit R. Microwave chirality discrimination in enantiomeric liquids // *Journal of Applied Physics*. — 2017. — jul. — Vol. 122, no. 3. — P. 034901. — URL: <https://doi.org/10.1063/1.4994273>.
9. Klimov V. V., Guzatov D. V., Ducloy M. Engineering of radiation of optically active molecules with chiral nano-meta-particles // *EPL (Europhysics Letters)*. — 2012. — feb. — Vol. 97, no. 4. — P. 47004. — URL: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/97/47004>.
10. Klimov V. V., Sun Sh., Guo G.-Yu. Coherent perfect nanoabsorbers based on negative refraction // *Optics Express*. — 2012. — may. — Vol. 20, no. 12. — P. 13071. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.20.013071>.
11. Guzatov D. V., Klimov V. V. Focusing of dipole radiation by a negative index chiral layer. 2. A thin layer as compared with the wavelength // *Quantum Electronics*. — 2014. — dec. — Vol. 44, no. 12. — P. 1112–1118. — URL: <https://doi.org/10.1070/qe2014v044n12abeh015559>.

12. Fabrication of multilayer metamaterials by femtosecond laser-induced forward-transfer technique / M. L. Tseng [et al.] // *Laser & Photonics Reviews*. — 2012. — jul. — Vol. 6, no. 5. — P. 702–707. — URL: <https://doi.org/10.1002/lpor.201200029>.
13. Enhanced lens by ε and μ near-zero metamaterial boosted by extraordinary optical transmission / M. Navarro-Cía [et al.] // *Phys. Rev. B*. — 2011. — mar. — Vol. 83, no. 11. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.83.115112>.
14. Tao B., Fu-Li L. Controlling thermal radiation by photonic quantum well structure with zero-averaged-refractive-index gap // *Journal of the Optical Society of America B*. — 2008. — dec. — Vol. 26, no. 1. — P. 96. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/JOSAB.26.000096>.
15. Nguyen V. C., Chen L., Halterman K. Total transmission and total reflection by zero index metamaterials with defects // *Phys. Rev. Lett.* — 2010. — dec. — Vol. 105, no. 23. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.233908>.
16. Kalachev A. A., Kocharovskaya O. A. Superradiance in media with a near-zero refractive index // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. — 2012. — mar. — Vol. 76, no. 3. — P. 252–255. — URL: <http://dx.doi.org/10.3103/S1062873812030136>.
17. Anti-reflective coatings: A critical, in-depth review / Hemant Kumar Raut [et al.] // *Energy & Environmental Science*. — 2011. — Vol. 4, no. 10. — P. 3779. — URL: <https://doi.org/10.1039/c1ee01297e>.
18. Catchpole K. R., Polman A. Plasmonic solar cells // *Optics Express*. — 2008. — dec. — Vol. 16, no. 26. — P. 21793. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.16.021793>.
19. Atwater Harry A., Polman Albert. Plasmonics for improved photovoltaic devices // *Nature Materials*. — 2010. — feb. — Vol. 9, no. 3. — P. 205–213. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat2629>.
20. Rapid tarnishing of silver nanoparticles in ambient laboratory air / M. D. McMahon [et al.] // *Applied Physics B*. — 2005. — apr. — Vol. 80, no. 7. — P. 915–921. — URL: <https://doi.org/10.1007/s00340-005-1793-6>.
21. The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment / K. Lance Kelly [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry B*. — 2003. — jan. — Vol. 107, no. 3. — P. 668–677. — URL: <https://doi.org/10.1021/jp026731y>.
22. Brongersma Mark L., Cui Yi, Fan Shanhui. Light management for photovoltaics using high-index nanostructures // *Nature Materials*. — 2014. — apr. — Vol. 13, no. 5. — P. 451–460. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat3921>.
23. Spinelli Pierpaolo, Polman Albert. Light Trapping in Thin Crystalline Si Solar Cells Using Surface Mie Scatterers // *IEEE Journal of Photovoltaics*. — 2014. — mar. — Vol. 4, no. 2. — P. 554–559. — URL: <https://doi.org/10.1109/jphotov.2013.2292744>.
24. All-dielectric optical nanoantennas / Alexander E. Krasnok [et al.] // *Optics Express*. — 2012. — aug. — Vol. 20, no. 18. — P. 20599. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.20.020599>.

25. Aspnes D. E., Studna A. A. Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, and InSb from 1.5 to 6.0 eV // *Physical Review B*. — 1983. — jan. — Vol. 27, no. 2. — P. 985–1009. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.27.985>.
26. Dobson P. J. Absorption and Scattering of Light by Small Particles // *Physics Bulletin*. — 1984. — mar. — Vol. 35, no. 3. — P. 104–104. — URL: <https://doi.org/10.1088/0031-9112/35/3/025>.
27. Demonstration of Zero Optical Backscattering from Single Nanoparticles / Steven Person [et al.] // *Nano Letters*. — 2013. — mar. — Vol. 13, no. 4. — P. 1806–1809. — URL: <https://doi.org/10.1021/nl4005018>.
28. Directional visible light scattering by silicon nanoparticles / Yuan Hsing Fu [et al.] // *Nature Communications*. — 2013. — feb. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms2538>.
29. Kerker M., Wang D.-S., Giles C. L. Electromagnetic scattering by magnetic spheres // *Journal of the Optical Society of America*. — 1983. — jun. — Vol. 73, no. 6. — P. 765. — URL: <https://doi.org/10.1364/josa.73.000765>.
30. Pakizeh Tavakol, Kall Mikael. Unidirectional Ultracompact Optical Nanoantennas // *Nano Letters*. — 2009. — jun. — Vol. 9, no. 6. — P. 2343–2349. — URL: <https://doi.org/10.1021/nl900786u>.
31. Gu Guiru, Vaillancourt Jarrod, Lu Xuejun. Analysis of near-field components of a plasmonic optical antenna and their contribution to quantum dot infrared photodetector enhancement // *Optics Express*. — 2014. — oct. — Vol. 22, no. 21. — P. 24970. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.22.024970>.
32. Kalra Yogita, Goyal Parul, Shankhwar Nishant. Design and analysis of a hollow bowtie nanoantenna // *Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XVI* / Ed. by Takuo Tanaka, Din Ping Tsai. — SPIE, 2018. — sep. — URL: <https://doi.org/10.1117/12.2320917>.
33. Optical spectroscopy of single Si nanocylinders with magnetic and electric resonances / Andrey B. Evlyukhin [et al.] // *Scientific Reports*. — 2014. — feb. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep04126>.
34. Optimum Forward Light Scattering by Spherical and Spheroidal Dielectric Nanoparticles with High Refractive Index / Boris S. Luk'yanchuk [et al.] // *ACS Photonics*. — 2015. — jun. — Vol. 2, no. 7. — P. 993–999. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5b00261>.
35. High-Efficiency Dielectric Huygens' Surfaces / Manuel Decker [et al.] // *Advanced Optical Materials*. — 2015. — feb. — Vol. 3, no. 6. — P. 813–820. — URL: <https://doi.org/10.1002/adom.201400584>.
36. Zou Chengjun, Staude Isabelle, Neshev Dragomir N. Tunable metasurfaces and metadevices // *Dielectric Metamaterials*. — Elsevier, 2020. — P. 195–222. — URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102403-4.00012-8>.

Сведения об авторах:

Константин Константинович Алтунин — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Елена Алексеевна Шлёнкина — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: zmejka123@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-7402-4916

Web of Science ResearcherID  ABH-1508-2020

Investigation of the optical transmission of a nanocomposite with inclusions from a toroidal metamaterial

K. K. Altunin , E. A. Shlyonkina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 12, 2020

Resubmitted December 2, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The optical properties of nanocomposite media containing inclusions of toroidal metamaterials are investigated. Nanocomposite media containing inclusions of toroidal metamaterials are the basis for the creation of nanoantennas and systems for covert information transmission. Numerical studies of the optical transmission of the interface with a nanocomposite medium containing inclusions from toroidal metamaterials show that by changing the parameters of the metamaterial, it is possible to effectively control the optical transmission through the interface of a nanocomposite medium with inclusions from a toroidal metamaterial. A theoretical model has been developed that makes it possible to calculate the main optical parameters of a nanostructure based on a toroidal metamaterial. As a result of numerical calculations, the values of the parameters of a nanostructure based on a toroidal metamaterial have been found, which make it possible to significantly increase the optical transmission of a nanostructure based on a toroidal metamaterial. As a result of numerical calculations, an increase in the optical transmission of the interface with a nanocomposite medium with inclusions from a toroidal metamaterial was found. It is shown that the optical and electrodynamic properties of a nanocomposite with toroidal metamaterials are determined not so much by the structural organization as by the optical and electrodynamic characteristics of its constituent components.

Keywords: metamaterial, toroidal metamaterial, nanocomposite, nanocomposite medium, optical transmission, optical radiation, short-range longitudinal fields, radiation wavelength, numerical calculations

PACS: 42.25.Bs

References

1. Dielectric Metamaterials with Toroidal Dipolar Response / Alexey A. Basharin [et al.] // *Physical Review X*. — 2015. — mar. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevx.5.011036>.
2. Savinov V., Fedotov V. A., Zheludev N. I. Toroidal dipolar excitation and macroscopic electromagnetic properties of metamaterials // *Physical Review B*. — 2014. — . — Vol. 89, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.89.205112>.
3. Stenishchev I. V., Basharin A. A. Toroidal response in all-dielectric metamaterials based on water // *Scientific Reports*. — 2017. — aug. — Vol. 7, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07399-y>.
4. Resonant Transparency and Non-Trivial Non-Radiating Excitations in Toroidal Metamaterials / V. A. Fedotov [et al.] // *Scientific Reports*. — 2013. — oct. — Vol. 3, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep02967>.

5. Achieving a high- Q response in metamaterials by manipulating the toroidal excitations / Yu. Fan [et al.] // *Physical Review A*. — 2018. — mar. — Vol. 97, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.97.033816>.
6. Analysis of optical properties of planar metamaterials by calculating multipole moments of their constituent meta-atoms / A. A. Pavlov [et al.] // *Quantum Electronics*. — 2013. — may. — Vol. 43, no. 5. — P. 496–501. — URL: <https://doi.org/10.1070/qe2013v043n05abeh015057>.
7. Toroidal photonic metamaterial / V. Savinov [et al.] // *Conference on Lasers and Electro-Optics 2012*. — OSA, 2012. — URL: <https://doi.org/10.1364/qe1s.2012.qm2e.5>.
8. Enhanced lens by ε and μ near-zero metamaterial boosted by extraordinary optical transmission / M. Navarro-Cía [et al.] // *Phys. Rev. B*. — 2011. — mar. — Vol. 83, no. 11. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.83.115112>.
9. Tao B., Fu-Li L. Controlling thermal radiation by photonic quantum well structure with zero-averaged-refractive-index gap // *Journal of the Optical Society of America B*. — 2008. — dec. — Vol. 26, no. 1. — P. 96. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/JOSAB.26.000096>.
10. Nguyen V. C., Chen L., Halterman K. Total transmission and total reflection by zero index metamaterials with defects // *Phys. Rev. Lett.* — 2010. — dec. — Vol. 105, no. 23. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.233908>.
11. Kalachev A. A., Kocharovskaya O. A. Superradiance in media with a near-zero refractive index // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. — 2012. — mar. — Vol. 76, no. 3. — P. 252–255. — URL: <http://dx.doi.org/10.3103/S1062873812030136>.
12. Klimov V. V., Guzatov D. V., Ducloy M. Engineering of radiation of optically active molecules with chiral nano-meta-particles // *EPL (Europhysics Letters)*. — 2012. — feb. — Vol. 97, no. 4. — P. 47004. — URL: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/97/47004>.
13. Klimov V. V., Sun Sh., Guo G.-Yu. Coherent perfect nanoabsorbers based on negative refraction // *Optics Express*. — 2012. — may. — Vol. 20, no. 12. — P. 13071. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.20.013071>.
14. Guzatov D. V., Klimov V. V. Focusing of dipole radiation by a negative index chiral layer. 2. A thin layer as compared with the wavelength // *Quantum Electronics*. — 2014. — dec. — Vol. 44, no. 12. — P. 1112–1118. — URL: <https://doi.org/10.1070/qe2014v044n12abeh015559>.
15. Fabrication of multilayer metamaterials by femtosecond laser-induced forward-transfer technique / M. L. Tseng [et al.] // *Laser & Photonics Reviews*. — 2012. — jul. — Vol. 6, no. 5. — P. 702–707. — URL: <https://doi.org/10.1002/lpor.201200029>.
16. Hollander E., Kamenetskii E. O., Shavit R. Microwave chirality discrimination in enantiomeric liquids // *Journal of Applied Physics*. — 2017. — jul. — Vol. 122, no. 3. — P. 034901. — URL: <https://doi.org/10.1063/1.4994273>.
17. Anti-reflective coatings: A critical, in-depth review / Hemant Kumar Raut [et al.] // *Energy & Environmental Science*. — 2011. — Vol. 4, no. 10. — P. 3779. — URL: <https://doi.org/10.1039/c1ee01297e>.

18. Catchpole K. R., Polman A. Plasmonic solar cells // *Optics Express*. — 2008. — dec. — Vol. 16, no. 26. — P. 21793. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.16.021793>.
19. Atwater Harry A., Polman Albert. Plasmonics for improved photovoltaic devices // *Nature Materials*. — 2010. — feb. — Vol. 9, no. 3. — P. 205–213. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat2629>.
20. Rapid tarnishing of silver nanoparticles in ambient laboratory air / M. D. McMahon [et al.] // *Applied Physics B*. — 2005. — apr. — Vol. 80, no. 7. — P. 915–921. — URL: <https://doi.org/10.1007/s00340-005-1793-6>.
21. The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment / K. Lance Kelly [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry B*. — 2003. — jan. — Vol. 107, no. 3. — P. 668–677. — URL: <https://doi.org/10.1021/jp026731y>.
22. Brongersma Mark L., Cui Yi, Fan Shanhui. Light management for photovoltaics using high-index nanostructures // *Nature Materials*. — 2014. — apr. — Vol. 13, no. 5. — P. 451–460. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat3921>.
23. Spinelli Pierpaolo, Polman Albert. Light Trapping in Thin Crystalline Si Solar Cells Using Surface Mie Scatterers // *IEEE Journal of Photovoltaics*. — 2014. — mar. — Vol. 4, no. 2. — P. 554–559. — URL: <https://doi.org/10.1109/jphotov.2013.2292744>.
24. All-dielectric optical nanoantennas / Alexander E. Krasnok [et al.] // *Optics Express*. — 2012. — aug. — Vol. 20, no. 18. — P. 20599. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.20.020599>.
25. Aspnes D. E., Studna A. A. Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, and InSb from 1.5 to 6.0 eV // *Physical Review B*. — 1983. — jan. — Vol. 27, no. 2. — P. 985–1009. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.27.985>.
26. Dobson P. J. Absorption and Scattering of Light by Small Particles // *Physics Bulletin*. — 1984. — mar. — Vol. 35, no. 3. — P. 104–104. — URL: <https://doi.org/10.1088/0031-9112/35/3/025>.
27. Demonstration of Zero Optical Backscattering from Single Nanoparticles / Steven Person [et al.] // *Nano Letters*. — 2013. — mar. — Vol. 13, no. 4. — P. 1806–1809. — URL: <https://doi.org/10.1021/nl4005018>.
28. Directional visible light scattering by silicon nanoparticles / Yuan Hsing Fu [et al.] // *Nature Communications*. — 2013. — feb. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms2538>.
29. Kerker M., Wang D.-S., Giles C. L. Electromagnetic scattering by magnetic spheres // *Journal of the Optical Society of America*. — 1983. — jun. — Vol. 73, no. 6. — P. 765. — URL: <https://doi.org/10.1364/josa.73.000765>.
30. Pakizeh Tavakol, Kall Mikael. Unidirectional Ultracompact Optical Nanoantennas // *Nano Letters*. — 2009. — jun. — Vol. 9, no. 6. — P. 2343–2349. — URL: <https://doi.org/10.1021/nl900786u>.

31. Gu Guiru, Vaillancourt Jarrod, Lu Xuejun. Analysis of near-field components of a plasmonic optical antenna and their contribution to quantum dot infrared photodetector enhancement // *Optics Express*. — 2014. — oct. — Vol. 22, no. 21. — P. 24970. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.22.024970>.
32. Kalra Yogita, Goyal Parul, Shankhwar Nishant. Design and analysis of a hollow bowtie nanoantenna // *Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XVI* / Ed. by Takuo Tanaka, Din Ping Tsai. — SPIE, 2018. — sep. — URL: <https://doi.org/10.1117/12.2320917>.
33. Optical spectroscopy of single Si nanocylinders with magnetic and electric resonances / Andrey B. Evlyukhin [et al.] // *Scientific Reports*. — 2014. — feb. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep04126>.
34. Optimum Forward Light Scattering by Spherical and Spheroidal Dielectric Nanoparticles with High Refractive Index / Boris S. Luk'yanchuk [et al.] // *ACS Photonics*. — 2015. — jun. — Vol. 2, no. 7. — P. 993–999. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.5b00261>.
35. High-Efficiency Dielectric Huygens' Surfaces / Manuel Decker [et al.] // *Advanced Optical Materials*. — 2015. — feb. — Vol. 3, no. 6. — P. 813–820. — URL: <https://doi.org/10.1002/adom.201400584>.
36. Zou Chengjun, Staude Isabelle, Neshev Dragomir N. Tunable metasurfaces and metadevices // *Dielectric Metamaterials*. — Elsevier, 2020. — P. 195–222. — URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102403-4.00012-8>.

Information about authors:

Konstantin Konstantinovich Altunin – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Elena Alekseevna Shlyonkina — Master's student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: zmejka123@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-7402-4916

Web of Science ResearcherID  ABH-1508-2020

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Исследование оптических свойств границы раздела между воздухом и нанокompозитной средой с экстремально низким показателем преломления

К. К. Алтунин , Е. С. Штром  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 16 ноября 2020 года
После переработки 30 ноября 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассматриваются оптические свойства границы раздела между воздухом и нанокompозитной средой, активированной металлическими наночастицами. Проведены численные расчёты эффективного показателя преломления и эффективной диэлектрической проницаемости нанокompозитной среды с металлическими наночастицами. Построены графики зависимостей эффективного показателя преломления и эффективной диэлектрической проницаемости нанокompозитной среды с металлическими наночастицами от длины волны внешнего оптического излучения. Проведены численные расчёты энергетических коэффициентов оптического отражения и оптического пропускания нанокompозитной среды с металлическими наночастицами. Построены графики зависимостей энергетических коэффициентов оптического отражения и оптического пропускания нанокompозитной среды с металлическими наночастицами от длины волны внешнего оптического излучения. При определённых параметрах матрицы и системы наноразмерных включений нанокompозитная среда обладает экстремально низким значениями эффективного показателя преломления. Показано, что, изменяя параметры нанокompозитной среды, можно добиться увеличения отражательной способности нанокompозитной среды, что позволяет использовать исследуемые нанокompозитные среды в качестве высокоэффективных антипросветляющих покрытий.

Ключевые слова: наноматериал, нанокompозитная среда, оптическое излучение, оптические свойства, оптическое пропускание, оптическое поглощение, показатель преломления

Введение

В последнее время в оптике большое влияние уделяется свойствам наноматериалов. Интерес к наноматериалам обусловлен в первую очередь их уникальными размерами и формами. Наибольший интерес вызывают электронные, механические, оптические и химические свойства наноматериалов потому, что они открывают перспективу для будущих применений как в теории, так и на практике.

¹E-mail: shtrom98@mail.ru

В настоящее время интенсивно развиваются современные теоретические подходы для описания физических свойств разнообразных наноматериалов и наносистем. В оптике наибольший интерес вызывают наносистемы из нанокompозитных материалов с металлическими наночастицами.

Целью исследования является теоретическое описание и объяснение некоторых оптических свойств наносистем из наноматериалов, обладающих экстремально низким эффективным показателем преломления.

В работе рассматриваются наносистемы из наноматериалов, обладающих экстремально низким эффективным показателем преломления.

Задачи исследования:

1. написание обзора научной литературы по физическим свойствам наноматериалов,
2. построение теоретической модели оптических свойств наноматериалов, обладающих экстремально низким эффективным показателем преломления,
3. проведение численных расчётов оптических характеристик наносистем из наноматериалов, обладающих экстремально низким эффективным показателем преломления.

Объектом исследования является наносистема из нанокompозитных материалов.

Предметом исследования являются оптические процессы в наносистемах из нанокompозитных материалов.

Гипотеза исследования состоит в том, что за счёт изменения геометрической конфигурации нанокompозита можно увеличить оптическое отражение границы раздела с нанокompозитной средой, обладающей экстремально низким эффективным показателем преломления.

Методами исследования являются теоретические и численные методы оптики, методы программирования теоретических задач современной оптики наноструктур.

Материалами исследования выбраны наноматериалы, обладающие экстремально низким эффективным показателем преломления, которые находящиеся во внешнем непрерывном или импульсном поле оптического излучения.

Обзор научных работ по физическим свойствам наносистем и нанокompозитных материалов

Наноматериалы, проявляющие высокую отражательную способность для внешнего оптического излучения, представляют общий интерес в науке и технике. Распространение и рассеяние электромагнитных волн в неупорядоченных средах является важной темой во многих областях науки.

Самым простым подходом для классификации наноматериалов является классификация наноматериалов по геометрическим размерами характерных наносистем, составляющих наноструктуры. Согласно такому подходу наноматериалы с характерным размером микроструктуры от 1 до 100 нм называются наноструктурными (или по другому нанофазными, нанокристаллическими, супрамолекулярными) материалами.

Хотя в последнее время были проведены обширные экспериментальные и теоретические работы для понимания баллистического и диффузионного фононного транспорта в наноматериалах [1–3], непосредственное наблюдение температуры и термической неравновесности различных фононных мод не было реализовано. В статье [4] разработан метод в рамках молекулярной динамики для расчёта температуры фононов как в реальном, так и в фазовом пространствах. Взяв в качестве примера тонкую плёнку кремния и графен, непосредственно получена спектральная температура фононов и

наблюдается локальная тепловая неравновесность между баллистическими и диффузионными фононами. Транспортировка фононов приводит к рассеиванию и экранированию тепла, термоэлектрическому преобразованию энергии, накоплению и сохранению энергии. Благодаря достижениям нанотехнологий в настоящее время устройства развиваются в направлении меньших размеров, которые могут быть даже меньше, чем длина свободного пробега фононов. В этом случае фононы становятся баллистическими и могут путешествовать без рассеяния или рассеяния энергии. Поэтому в последнее время обширные экспериментальные и теоретические работы были сосредоточены на изучении баллистического и диффузионного переноса фононов в наноматериалах, таких как кремний [5–9], кремний с отверстиями [10], кремниевая наносетка [11, 12], сверхрешётки [12–14], нанопроволоки из сплава SiGe [15].

В статье [16] ведётся речь о наноразмерных монокристаллах, обладающих модифицированными фононными дисперсиями благодаря усечению кристалла. Введение поверхностей изменяет заселённость фононов относительно объёма и вводит анизотропию, возникающую из-за нарушения трансляционной симметрии.

В статье [17] сообщается о результатах исследований по отражению нейтронов низкой энергии от порошков детонационных наночастиц алмаза.

В статье [18] описаны результаты измерения теплопередачи через контакты между отдельными многослойными углеродными нанотрубками, которые показывают, что, вопреки общему ожиданию, нормализованная теплопроводность контакта на единицу площади линейно зависит от диаметра нанотрубки. Результат подтверждается и распространяется на многослойные графеновые наноленты посредством моделирования молекулярной динамики. Полуколичественный анализ показывает, что эти интригующие наблюдения согласуются с объяснением, основанным на неожиданно большой длине свободного пробега фононов в направлении c -оси графита, отражении фононов на свободных поверхностях и фокусировке фононов в высокоанизотропных графитовых материалах. Углеродные нанотрубки и графен привлекают огромное внимание благодаря своим превосходным свойствам и перспективным применениям в энергетике, микроэлектронике и биотехнологии [19, 20].

Помимо оптически доступных ярких экситонных состояний, в также имеется множество оптически запрещённых тёмных экситонов дихалькогенидов переходных металлов. Экситоны доминируют в оптических свойствах однослойных дихалькогенидов переходных металлов [21].

В статье [22] сообщается об исследовании эволюции размеров решёточной динамики в спиновых координационных наночастицах. С помощью измерений ядерного неупругого рассеяния. Вибрационные свойства в этих бистабильных молекулярных материалах имеют первостепенное значение, и ядерного неупругого рассеяния позволяет получить доступ к частичной колебательной плотности состояний в обоих спиновых состояниях, из которых можно извлечь термодинамические и механические свойства.

Сверхкороткие импульсные лазеры являются эффективными инструментами для использования в широком спектре наномасштабных применений, начиная от точной обработки наноматериалов, до нанесения нанокompозитов, до диагностики для наблюдения транспортных свойств в атомистических масштабах времени и длины. Одним из критических предостережений этих приложений является прогнозирование и контроль температуры материалов после поглощения лазерного импульса. При относительно низких поглощенных мощностях лазера температуру можно определить по отражённой энергии лазерного импульса от поверхности образца, поскольку отражательная способность и изменение температуры линейно связаны. Однако, поскольку лазерные импульсы становятся более мощными, вызывая тем самым большие изменения температуры, а материалы продолжают уменьшаться по характерным длинам, вызывая тем

самым интерференцию подложки, влияющую на поглощенную энергию, определение температуры по отражательной способности становится более сложным, чем традиционно предполагаемое линейное соотношение. В работе [23] разработана модель отражательной способности, которая учитывает большие флуктуации температуры в тонкоплёночных металлах, используя температурные зависимости внутризонных («свободных» электронов) и межзонных («связанных» электронов) диэлектрических функций и теорию множественного отражения. Используются электрон-электронное, электрон-фононное и электрон-субстратное рассеяние, а изменение отражательной способности как функция этих различных событий рассеяния изучается в случае как внутризонных, так и межзонных возбуждений. Эта термоотражающая модель сравнивается с данными термоотражения на тонких плёнках золота [23].

В статье [3] обсуждается передача волны через материальную границу раздела сред, описанная при помощи коэффициентов передачи Френеля, невязанной и явно нарушающей закон сохранения энергии. В оптически поглощающей или усиливающей линейной среде плотность потока энергии оптических волн обычно периодически модулируется в пространстве.

Атомно-тонкий дисульфид молибдена становится новым наноматериалом с потенциальными приложениями в области электроники и фотоники. Динамика носителей заряда играет существенную роль в определении его электронных и оптических свойств. В статье [24] сообщается об исследованиях пространственно и временно разрешённых примесных носителей заряда в атомарно тонких образцах дисульфида молибдена, полученных механическим отслаиванием. Носители вводятся путём межзонного поглощения импульса накачки с длиной волны 390 нм и детектируются путём измерения дифференциального отражения задержанного во времени и пространственно сканированного зондирующего импульса, который настроен на экситонный переход. Выводятся несколько параметров динамики носителей заряда, включая время жизни носителей, коэффициент диффузии, длину диффузии и подвижность.

В статье [25] говорится о том, что время как влияние деформации на структуру электронных зон интенсивно изучалось, существует лишь несколько работ по его влиянию на оптические свойства однослойных дихалькогенидов переходных металлов.

В статье [17] сообщается о результатах текущих исследований по отражению нейтронов низкой энергии от порошков детонационных наночастиц алмаза.

В статье [26] выполнена сверхбыстрая накачка плазмонных структур за пределами режима возмущения возбуждения. В качестве прототипа были выбраны диспергированные в воде золотые наностержни, которые демонстрируют как продольный, так и поперечный плазмонные резонансы. В частности, наблюдаются более сильные эффекты насыщения для высокоэнергетического поперечного плазмонного резонанса по сравнению с низкоэнергетическим продольным. Данное поведение хорошо отражено в трёхтемпературной модели и понимается с точки зрения нелинейности механизма размытия Ферми, определяющего оптическую нелинейность наноматериалов из благородных металлов. Данные результаты подчеркивают универсальную динамику насыщения в переходном оптическом отклике фотонных структур с усилением плазмона, возбуждаемых интенсивными световыми пучками, с потенциальным воздействием на многие области применения, от полностью оптической модуляции света до фотогальваники и фотокатализа.

Исследование наноматериалов представляют значительный интерес с учётом возможного применения в наноразмерной оптоэлектронике и солнечной энергетике. Одно из основных направлений развития электромагнитных наноматериалов заключается в разработке наноструктур, которые характеризуются малыми значениями диэлектрической проницаемостью и магнитной проницаемостью в ответ на воздействие элек-

трических и магнитных полей. Область исследования наноматериалов развивается, в частности, из-за интереса для потенциальных применений в поисках идеальной линзы [27], устройствах с замедлением света [28], наноматериалах с отрицательным диэлектрической проницаемостью и магнитной проницаемостью [29], наноматериалах с отрицательным показателем преломления [30]. Известен эффект усиления действующего электромагнитного поля вблизи поверхности металлических наночастиц [31], позволяющий создавать лазерные среды в виде композитов из лазерно-активных молекул на поверхности наночастиц. Композитные среды с наночастицами благородных металлов представляют большой практический интерес при разработке быстродействующих оптических переключателей. Линейные и нелинейные оптические свойства таких сред определяются плазмонным резонансом металлических наночастиц и свойствами прозрачной матрицы. При наличии у наночастицы внутренней структуры, например, диэлектрического ядра, появляются дополнительные возможности управления её оптическими свойствами — спектральным положением плазмонного резонанса и характером оптического отклика на внешнее воздействие. Это объясняет большое количество экспериментальных и теоретических исследований таких наноструктур в последние годы.

В настоящее время интенсивно исследуются технологии получения и физические свойства новых искусственных наноматериалов и метаматериалов с атомными кластерами [32, 33] и металлическими наночастицами [34–37]. Некоторые из новых наноматериалов с усиленным оптическим пропусканием [34, 35], наноматериалов с квази нулевым показателем преломления [38] и наноматериалов с сильно отрицательными значениями комплексного показателя преломления [39] могут быть использованы в наноразмерных оптоэлектронных устройствах с управлением при помощи излучения оптического диапазона.

Результаты расчёта энергетических коэффициентов Френеля для границы раздела между воздухом и нанокompозитом

Рассмотрим оптические свойства нанокompозитной среды, состоящей из металлических наночастиц, расположенных в узлах трёхмерной решётки и внедрённых в диэлектрическую матрицу. Для описания оптических свойств нанокompозитной среды разработан метод [38, 39], учитывающий эффекты запаздывания при взаимодействии наночастиц с оптическим излучением. В пределе пренебрежимо малых расстояний между наночастицами по сравнению с длиной волны полученные результаты совпадают с результатами теории Максвелла–Гарнетта [34, 35].

Рассмотрим случай одной границы раздела между полубесконечными средами, из которых одна является нанокompозитной средой. Основными оптическими параметрами сред в немагнитном приближении являются эффективные комплексные показатели преломления, учитывающие возможность среды к поглощению оптического излучения в случае поглощающей среды и возможность активной среды к усилению оптического излучения.

Среду, расположенную в положительной области значений декартовой координаты z будем нумеровать номером $j = 0$. Среду, расположенную в отрицательной области значений декартовой координаты z будем нумеровать номером $j = 1$. Предположим, что в следствие анизотропии среды 1 из-за наличия включений металлических наночастиц в матрицу существует возможность множественных отражённых и преломлённых волн в следствие диффузного характера границы раздела двух сред. Это предположение приводит к необходимости учёта разброса значений комплексного показателя преломления среды 1. Для вычисления эффективного показателя преломления предполагается использовать формулы смешения и алгоритмы теории гомогенизации. Теория гомогенизации среды позволяет обойтись без применения тензорного исчисления для

расчёта тензоров величин, характеризующих анизотропные свойства неоднородной среды. В теории гомогенизации вместо анизотропной среды нанокompозита, состоящего из матрицы и системы наноразмерных включений, вводится эффективная сплошная среда, характеризующаяся эффективным комплексным показателем преломления. Указанная процедура позволяет производить расчёт по классическим формулам Френеля для оптики сплошных сред.

Задача расчёта оптических характеристик рассматриваемой системы, содержащей нанокompозитные среды, сводится к вычислению амплитудных коэффициентов Френеля $r_{01}^s, t_{01}^s, r_{01}^p, t_{01}^p, r_{01}, t_{01}$ и энергетических коэффициентов Френеля $R_{01}^s, T_{01}^s, R_{01}^p, T_{01}^p, R_{01}, T_{01}$. Амплитудный коэффициент Френеля для отражения s -поляризованного внешнего излучения имеет вид [40]:

$$r_{01}^s = r_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{n_0 \cos \theta_0 - n_1 \cos \theta_1}{n_0 \cos \theta_0 + n_1 \cos \theta_1}, \quad (1)$$

где θ_0 – угол падения внешнего излучения на границу раздела двух сред, θ_1 – угол преломления внешнего излучения, прошедшего через границу раздела двух сред, в среду 1.

Используем закон преломления для границы раздела среды 0 и среды 1 [40]:

$$\frac{\sin \theta_0}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_0} \quad (2)$$

и основное тригонометрическое тождество для угла преломления θ_1 в среде 1

$$\sin^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_1 = 1 \quad (3)$$

для того, чтобы выразить косинус угла преломления θ_1 внешнего оптического излучения в среде 1

$$\cos \theta_1 = \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}, \quad (4)$$

в котором оставлен только положительный корень. Подставляя выражение (4) в (1), получим

$$r_{01}^s = r_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{n_0 \cos \theta_0 - n_1 \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}}{n_0 \cos \theta_0 + n_1 \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}}, \quad (5)$$

в котором показатель преломления первой среды n_1 внесём под квадратные корни в числителе и знаменателе. Тогда получим выражение для амплитудного коэффициента отражения в виде

$$r_{01}^s = r_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{n_0 \cos \theta_0 - \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta_0}}{n_0 \cos \theta_0 + \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta_0}}. \quad (6)$$

Амплитудный коэффициент Френеля для пропускания s -поляризованного внешнего излучения имеет вид [40]:

$$t_{01}^s = t_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{2n_0 \cos \theta_0}{n_0 \cos \theta_0 + n_1 \cos \theta_1}, \quad (7)$$

где θ_0 – угол падения внешнего излучения на границу раздела двух сред, θ_1 – угол преломления внешнего излучения, прошедшего через границу раздела двух сред, в среду

1. Подставляя выражение (4) в уравнение (7), получим выражение для амплитудного коэффициента отражения для s -поляризованной волны

$$t_{01}^s = t_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{2n_0 \cos \theta_0}{n_0 \cos \theta_0 + n_1 \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}}, \quad (8)$$

в котором показатель преломления первой среды n_1 внесём под квадратный корень в знаменателе. Тогда получим выражение для амплитудного коэффициента пропускания в виде

$$t_{01}^s = t_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{2n_0 \cos \theta_0}{n_0 \cos \theta_0 + \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta_0}}. \quad (9)$$

Амплитудный коэффициент Френеля для отражения p -поляризованного внешнего излучения имеет вид [40]:

$$r_{01}^p = r_{01}(\mathbf{e}_\parallel) = \frac{n_1 \cos \theta_0 - n_0 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_0 + n_0 \cos \theta_1}, \quad (10)$$

где θ_0 – угол падения внешнего излучения на границу раздела двух сред, θ_1 – угол преломления внешнего излучения, прошедшего через границу раздела двух сред, в среду 1. Подставляя выражение (4) в уравнение (10), получим выражение для амплитудного коэффициента отражения для p -поляризованной волны

$$r_{01}^p = r_{01}(\mathbf{e}_\parallel) = \frac{n_1 \cos \theta_0 - n_0 \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}}{n_1 \cos \theta_0 + n_0 \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}}. \quad (11)$$

Амплитудный коэффициент Френеля для пропускания p -поляризованного внешнего излучения имеет вид [40]:

$$t_{01}^p = t_{01}(\mathbf{e}_\parallel) = \frac{2n_0 \cos \theta_0}{n_1 \cos \theta_0 + n_0 \cos \theta_1}, \quad (12)$$

где θ_0 – угол падения внешнего излучения на границу раздела двух сред, θ_1 – угол преломления внешнего излучения, прошедшего через границу раздела двух сред, в среду 1. Подставляя выражение (4) в (7), получим

$$t_{01}^p = t_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{2n_0 \cos \theta_0}{n_1 \cos \theta_0 + n_0 \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}}. \quad (13)$$

Амплитудные коэффициенты Френеля для отражения поляризованного внешнего излучения, выраженные через относительный показатель преломления, имеют вид [40]:

$$r_{01}^s = r_{01}(\mathbf{e}_\perp) = \frac{\cos \theta_0 + \sqrt{n_{01}^2 - \sin^2 \theta_0}}{\cos \theta_0 - \sqrt{n_{01}^2 - \sin^2 \theta_0}}, \quad (14)$$

$$r_{01}^p = r_{01}(\mathbf{e}_\parallel) = \frac{n_{01}^2 \cos \theta_0 + \sqrt{n_{01}^2 - \sin^2 \theta_0}}{n_{01}^2 \cos \theta_0 - \sqrt{n_{01}^2 - \sin^2 \theta_0}}, \quad (15)$$

где введено обозначение для относительного показателя преломления первой среды относительно нулевой среды $n_{01} = n_1/n_0$.

Энергетический коэффициент Френеля для отражения внешней s -поляризованной волны найдем по формуле:

$$R_{01}^s = |r_{01}^s|^2. \quad (16)$$

Энергетический коэффициент Френеля для пропускания внешней s -поляризованной волны найдем по формуле:

$$T_{01}^s = \frac{n_1 \cos \theta_1}{n_0 \cos \theta_0} |t_{01}^s|^2, \quad (17)$$

причём в случае прозрачной среды 1 должно выполняться соотношение

$$R_{01}^s + T_{01}^s = 1, \quad (18)$$

Энергетический коэффициент Френеля для отражения внешней p -поляризованной волны найдем по формуле:

$$R_{01}^p = |r_{01}^p|^2. \quad (19)$$

Энергетический коэффициент Френеля для пропускания внешней p -поляризованной волны, которая прошла в среду 1, найдём по формуле:

$$T_{01}^p = \frac{n_1 \cos \theta_0}{n_0 \cos \theta_1} |t_{01}^p|^2, \quad (20)$$

причём в случае прозрачной среды 1 должно выполняться соотношение

$$R_{01}^p + T_{01}^p = 1, \quad (21)$$

Энергетический коэффициент Френеля для оптического отражения внешней неполяризованной волны найдём по формуле:

$$R_{01} = \frac{1}{2} (R_{01}^s + R_{01}^p). \quad (22)$$

Энергетический коэффициент Френеля для оптического пропускания внешней неполяризованной волны найдём по формуле:

$$T_{01} = \frac{1}{2} (T_{01}^s + T_{01}^p). \quad (23)$$

В оптическом приближении эффективная диэлектрическая проницаемость нанокompозитной среды связана с эффективным показателем преломления формулой $\varepsilon_1 = n_1^2$. Эффективная диэлектрическая проницаемость нанокompозитной среды в приближении эффективной среды может быть вычислена по формуле Максвелл-Гарнетта

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1^m \left(1 + \frac{3f_1 (\varepsilon_1^i - \varepsilon_1^m)}{\varepsilon_1^i + 2\varepsilon_1^m - f_1 (\varepsilon_1^i - \varepsilon_1^m)} \right), \quad (24)$$

где ε_1^i – эффективная диэлектрическая проницаемость системы наноразмерных включений из металлических наночастиц, ε_1^m – эффективная диэлектрическая проницаемость материала матрицы нанокompозитной среды, f_1 – фактор заполнения металлическими наночастицами нанокompозитной среды. Эффективная диэлектрическая проницаемость материала матрицы нанокompозитной среды связана с эффективным показателем преломления формулой $\varepsilon_1^m = (n_1^m)^2$.

Эффективный комплексный показатель преломления материала матрицы нанокompозитной среды найдём по формуле Коши-Урбаха для слоёв с затуханием

$$n_1^m = b_0 + \frac{b_1}{\lambda^2} + \frac{b_2}{\lambda^4} + ib_3 \exp \left(\frac{b_4}{\lambda} - b_5 \right), \quad (25)$$

где длина волны поставляется в микрометрах, а значения коэффициентов $b_0 = 0.033441$, $b_1 = 0.0004850$, $b_2 = -0.00002299$, $b_3 = -7.2637 \cdot 10^{-7}$, $b_4 = 0.6957$, $b_5 = 0.7313$.

Эффективная диэлектрическая проницаемость материала включений нанокompозитной среды связана с эффективным показателем преломления формулой $\varepsilon_1^i = (n_1^i)^2$. Эффективная диэлектрическая проницаемость материала включений нанокompозитной среды находится по формуле Друде-Лоренца

$$\varepsilon_1^i(\omega) = \varepsilon_{1\infty} - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma_e)}, \quad (26)$$

где ω_p – плазменная частота. Коэффициент затухания находится по формуле

$$\gamma_e = \gamma_{e0} + (0.71 + (1 - f_1) 0.31) \frac{v_{F1}}{a_1}, \quad (27)$$

где v_{F1} – скорость Ферми, a_1 – радиус металлических наночастиц в нанокompозитной среде. Для серебра скорость Ферми $v_{F1} = 1.39 \cdot 10^6$ м/с, высокочастотная диэлектрическая проницаемость материала включений $\varepsilon_{1\infty} = 4.1$, плазменная частота $\omega_p = 1.33 \cdot 10^{16}$ рад/с, коэффициент затухания $\gamma_{e0} = 7.7 \cdot 10^{13}$ рад/с.

Приведём результаты численных вычислений энергетических коэффициентов отражения и пропускания от длины волны излучения для структуры, в которой оптическое излучение падает из среды 0 (воздух) на нанокompозитную среду 1, состоящую из матрицы с материалом с низким показателем преломления и системы наноразмерных включений из наночастиц серебра.

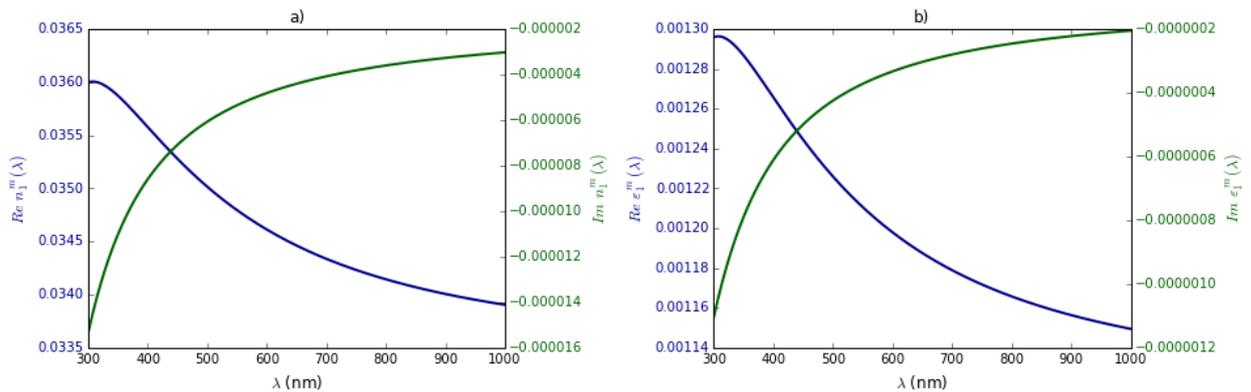


Рис. 1. Зависимость эффективного показателя преломления (а) и эффективной диэлектрической проницаемости (б) матрицы нанокompозитной среды от длины волны внешнего оптического излучения.

На рис. 1 изображены графики зависимостей эффективного показателя преломления (а) и эффективной диэлектрической проницаемости (б) матрицы нанокompозитной среды от длины волны внешнего оптического излучения.

На рис. 2 изображены графики зависимостей эффективного показателя преломления (а) и эффективной диэлектрической проницаемости (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$.

На рис. 3 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

На рис. 4 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды

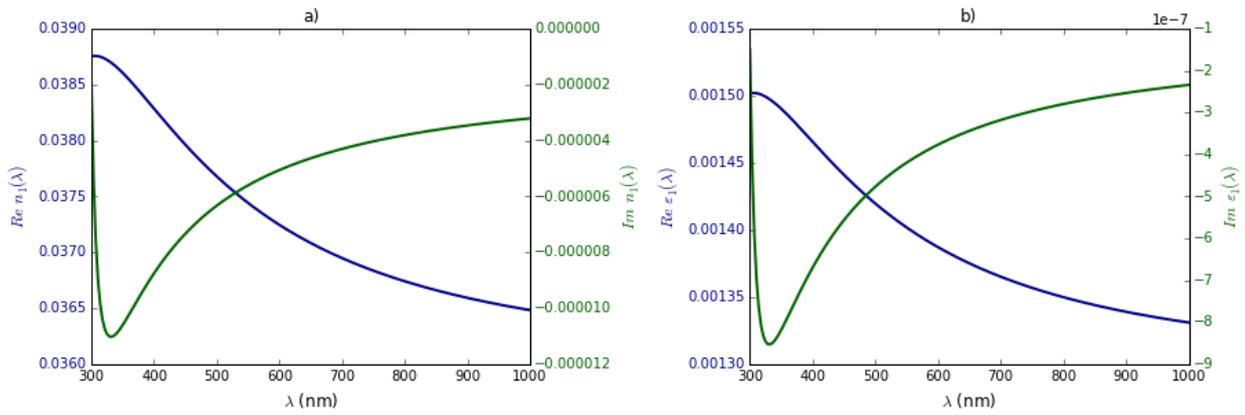


Рис. 2. Зависимость эффективного показателя преломления (а) и эффективной диэлектрической проницаемости (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$.

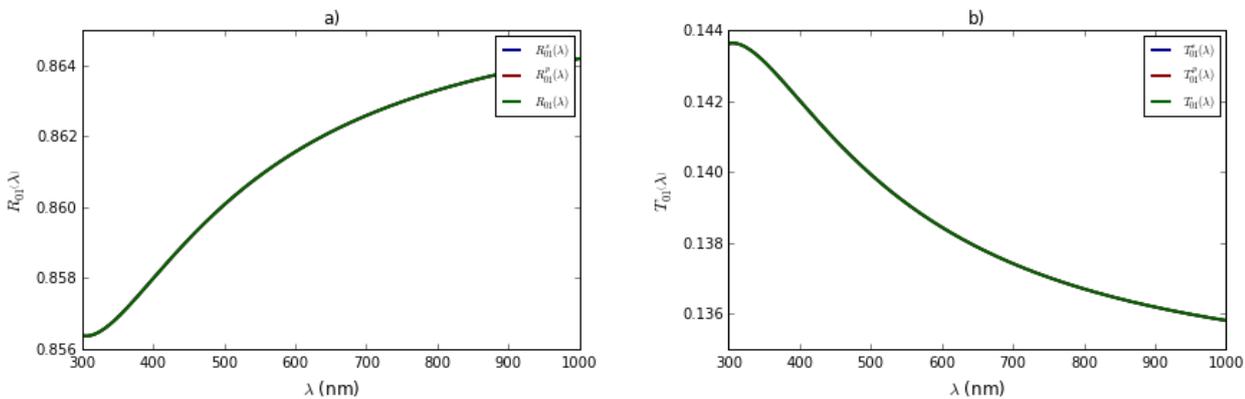


Рис. 3. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 10^\circ$.

На рис. 5 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$.

На рис. 6 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 30^\circ$.

На рис. 7 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус

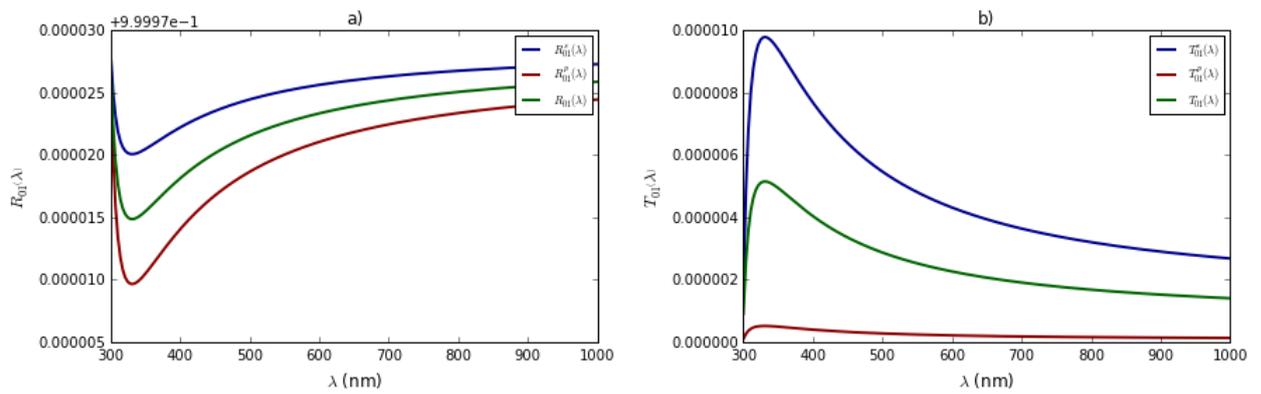


Рис. 4. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 10^\circ$.

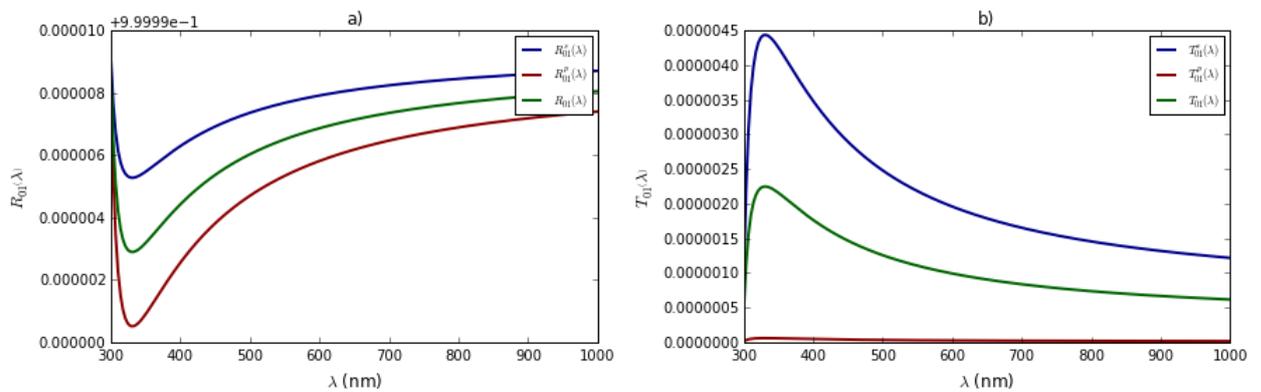


Рис. 5. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 20^\circ$.

наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

На рис. 8 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 50^\circ$.

На рис. 9 изображены графики зависимостей эффективного показателя преломления (а) и эффективной диэлектрической проницаемости (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 12.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 7\%$.

На рис. 10 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

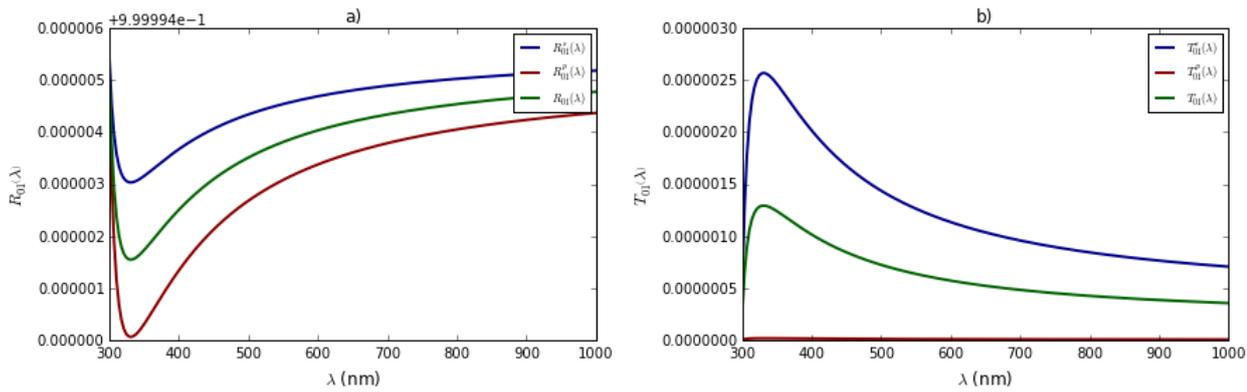


Рис. 6. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 30^\circ$.

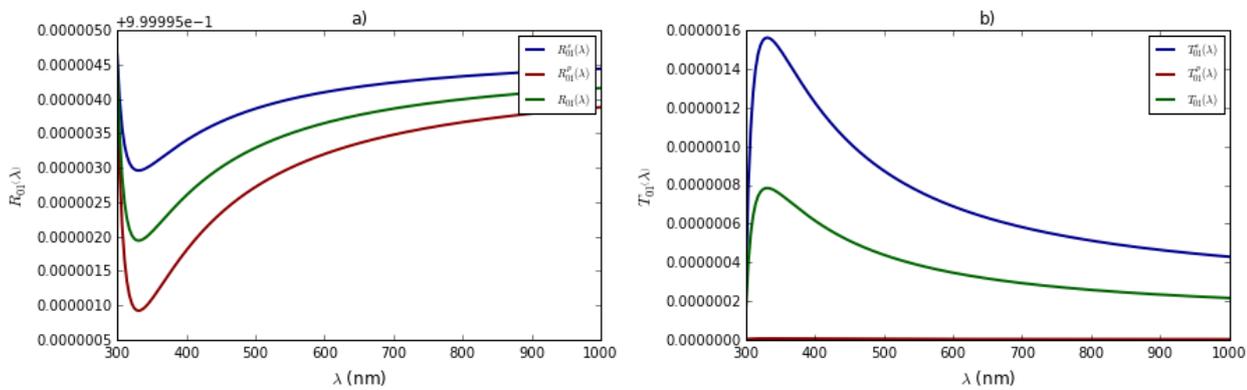


Рис. 7. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

На рис. 11 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 30^\circ$.

На рис. 12 изображены графики зависимостей энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 55^\circ$.

Проведены численные расчёты эффективного показателя преломления и эффективной диэлектрической проницаемости нанокompозитной среды с металлическими наночастицами. Построены графики зависимостей эффективного показателя преломления и эффективной диэлектрической проницаемости нанокompозитной среды с металлическими наночастицами от длины волны внешнего оптического излучения. Проведены численные расчёты энергетических коэффициентов оптического отражения и оптичес-

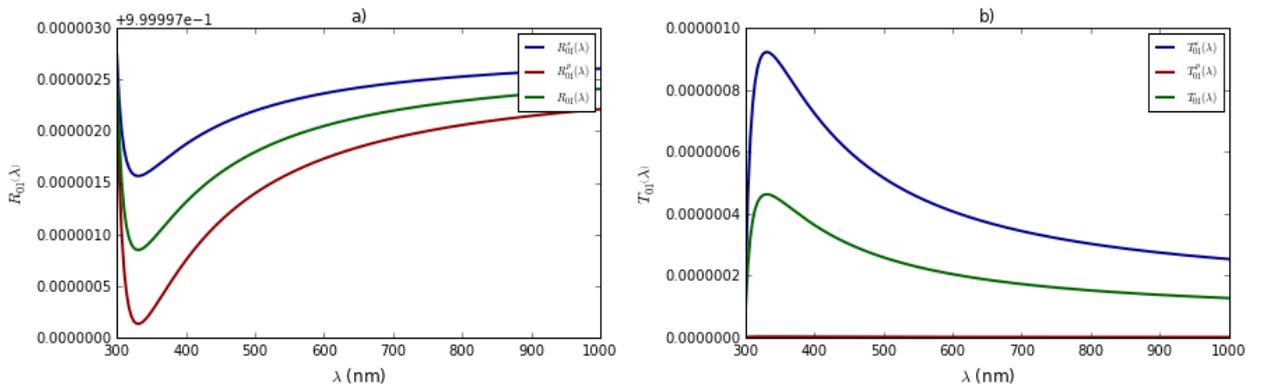


Рис. 8. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 40^\circ$.

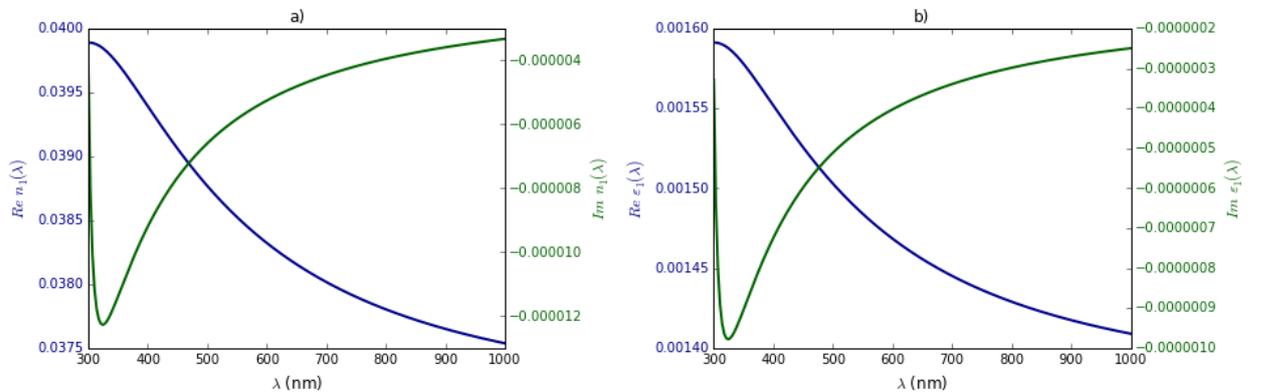


Рис. 9. Зависимость эффективного показателя преломления (а) и эффективной диэлектрической проницаемости (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 12.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 7\%$.

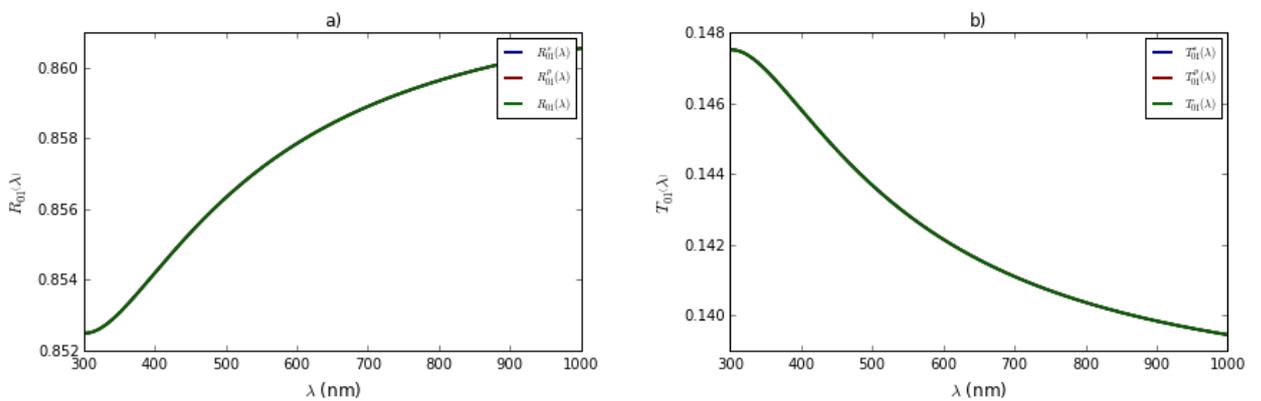


Рис. 10. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 0^\circ$.

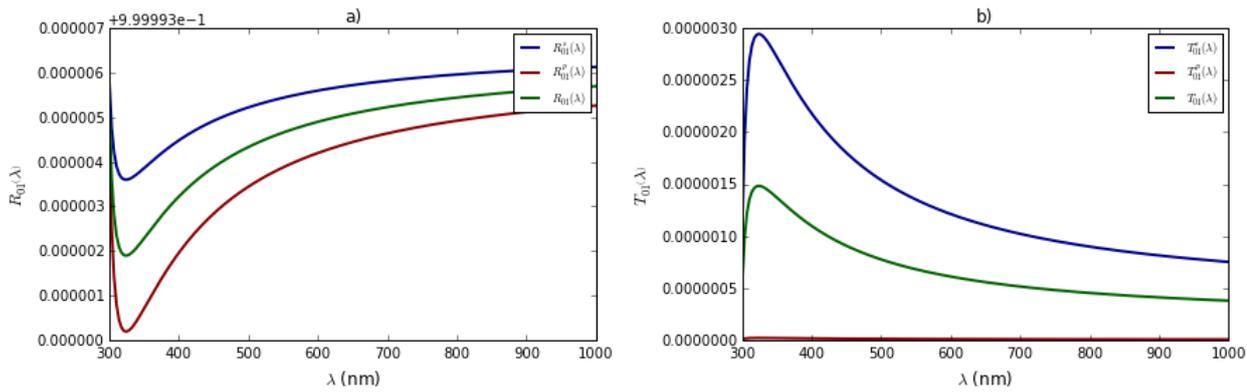


Рис. 11. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 30^\circ$.

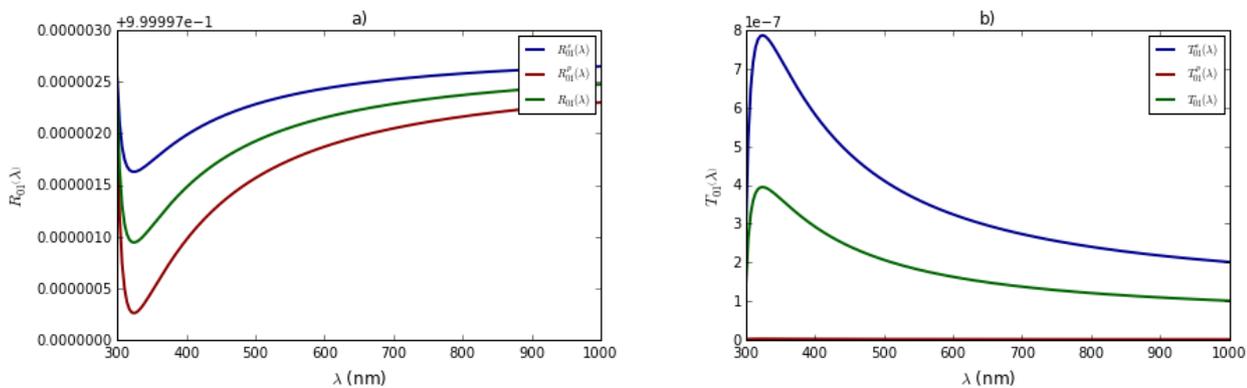


Рис. 12. Зависимость энергетического коэффициента отражения (а) и энергетического коэффициента пропускания (б) нанокompозитной среды с наночастицами серебра от длины волны внешнего оптического излучения. Радиус наночастиц серебра составляет $a_1 = 4.0$ нм, фактор заполнения равен $f_1 = 5\%$. Угол падения внешнего оптического излучения $\theta_0 = 55^\circ$.

ского пропускания нанокompозитной среды с металлическими наночастицами. Построены графики зависимостей энергетических коэффициентов оптического отражения и оптического пропускания нанокompозитной среды с металлическими наночастицами от длины волны внешнего оптического излучения. При определённых параметрах матрицы и системы наноразмерных включений нанокompозитная среда обладает экстремально низкими значениями эффективного показателя преломления.

Заключение

В настоящей работе проведено всестороннее исследование оптических характеристик наноматериалов с экстремально низкими значениями эффективного показателя преломления в поле оптического излучения. При некотором соотношении геометрических параметров нанокompозитной среды эффективный показатель преломления нанокompозитной среды может принимать экстремально низкие значения. Исследуемая нанокompозитная среда при параметрах, выбранных для численных расчётов, обладает высоким оптическим отражением и достаточно низким оптическим пропусканием в широком диапазоне оптических длин волн.

Выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. проведённый анализ научной литературы по оптическим свойствам наноструктурных сред и наносистем показал актуальность исследования оптических свойств наносистем из наноматериалов,
2. построенная теоретическая модель оптических процессов пропускания и отражения в наноструктурных материалах, находящихся в поле внешнего оптического излучения, позволяет адекватно описывать оптические характеристики нанокompозитных материалов, обладающих экстремально низким значениями эффективного показателя преломления и эффективной диэлектрической проницаемости,
3. проведённые численные расчёты оптических параметров нанокompозитов позволяют прогнозировать оптические свойства нанокompозитов, обладающим экстремально низким значениями эффективного показателя преломления.

При помощи численных расчётов доказано, что можно управлять значениями оптического отражения нанокompозитной структуры при помощи изменения параметров нанокompозитной среды. Гипотеза исследования, состоящая в том, что, изменяя различные параметры наноструктурной среды, можно добиться увеличения отражательной способности наноструктурной среды, подтверждена полностью. При определённых параметрах матрицы и системы наноразмерных включений нанокompозитная среда обладает экстремально низким значениями эффективного показателя преломления. Показано, что, изменяя параметры наноструктурной среды, можно добиться увеличения отражательной способности наноструктурной среды, что позволяет использовать исследуемые нанокompозитные среды в качестве высокоэффективных антипросветляющих покрытий. Полученные результаты численных расчётов оптического пропускания и отражения границы раздела с нанокompозитной средой могут быть использованы при проектировании высокоэффективных антипросветляющих покрытий. Покрытия, изготовленные на основе нанокompозитных сред с экстремально низким эффективным показателем преломления могут быть использованы в качестве антипросветляющих покрытий.

Список использованных источников

1. Well-defined metal-polymer nanocomposites: The interplay of structure, thermoplasmonics, and elastic mechanical properties / David Saleta Reig [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2018. — dec. — Vol. 2, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.2.123605>.
2. Nonlocal self-organization of long stacking faults from highly strained nanocomposite film of complex oxide / Tomoya Horide [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2019. — jan. — Vol. 3, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.3.013403>.
3. Nyman M., Shevchenko A., Kaivola M. Fluorescence enhancement and nonreciprocal transmission of light waves by nanomaterial interfaces // *Physical Review A*. — 2017. — nov. — Vol. 96, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.96.053828>.
4. Spectral analysis of nonequilibrium molecular dynamics: Spectral phonon temperature and local nonequilibrium in thin films and across interfaces / Tianli Feng [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — may. — Vol. 95, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.95.195202>.
5. Minnich A. J. Determining Phonon Mean Free Paths from Observations of Quasiballistic Thermal Transport // *Physical Review Letters*. — 2012. — nov. — Vol. 109, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.109.205901>.

6. Broadband phonon mean free path contributions to thermal conductivity measured using frequency domain thermorefectance / Keith T. Regner [et al.] // *Nature Communications*. — 2013. — mar. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms2630>.
7. Spectral mapping of thermal conductivity through nanoscale ballistic transport / Yongjie Hu [et al.] // *Nature Nanotechnology*. — 2015. — jun. — Vol. 10, no. 8. — P. 701–706. — URL: <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.109>.
8. Measuring Phonon Mean Free Path Distributions by Probing Quasiballistic Phonon Transport in Grating Nanostructures / Lingping Zeng [et al.] // *Scientific Reports*. — 2015. — nov. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep17131>.
9. Reconstructing phonon mean-free-path contributions to thermal conductivity using nanoscale membranes / John Cuffe [et al.] // *Physical Review B*. — 2015. — jun. — Vol. 91, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.91.245423>.
10. Lee Jaeho, Lim Jongwoo, Yang Peidong. Ballistic Phonon Transport in Holey Silicon // *Nano Letters*. — 2015. — apr. — Vol. 15, no. 5. — P. 3273–3279. — URL: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b00495>.
11. Engineering thermal conductance using a two-dimensional phononic crystal / Nobuyuki Zen [et al.] // *Nature Communications*. — 2014. — mar. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms4435>.
12. Maldovan Martin. Phonon wave interference and thermal bandgap materials // *Nature Materials*. — 2015. — jun. — Vol. 14, no. 7. — P. 667–674. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat4308>.
13. Crossover from incoherent to coherent phonon scattering in epitaxial oxide superlattices / Jayakanth Ravichandran [et al.] // *Nature Materials*. — 2013. — dec. — Vol. 13, no. 2. — P. 168–172. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat3826>.
14. Coherent Phonon Heat Conduction in Superlattices / M. N. Luckyanova [et al.] // *Science*. — 2012. — nov. — Vol. 338, no. 6109. — P. 936–939. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1225549>.
15. Observation of room-temperature ballistic thermal conduction persisting over 8.3 μm in SiGe nanowires / Tzu-Kan Hsiao [et al.] // *Nature Nanotechnology*. — 2013. — jun. — Vol. 8, no. 7. — P. 534–538. — URL: <https://doi.org/10.1038/nnano.2013.121>.
16. Three-dimensional phonon population anisotropy in silicon nanomembranes / Kyle M. McElhinny [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.014301>.
17. Effect of nanodiamond fluorination on the efficiency of quasispecular reflection of cold neutrons / V. V. Nesvizhevsky [et al.] // *Physical Review A*. — 2018. — feb. — Vol. 97, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.97.023629>.
18. Phonon Transport through Point Contacts between Graphitic Nanomaterials / Juekuan Yang [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2014. — may. — Vol. 112, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.112.205901>.
19. Baughman R. H. Carbon Nanotubes—the Route Toward Applications // *Science*. — 2002. — aug. — Vol. 297, no. 5582. — P. 787–792. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1060928>.

20. Geim A. K. Graphene: Status and Prospects // *Science*. — 2009. — jun. — Vol. 324, no. 5934. — P. 1530–1534. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1158877>.
21. Phonon Sidebands in Monolayer Transition Metal Dichalcogenides / Dominik Christiansen [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2017. — nov. — Vol. 119, no. 18. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.119.187402>.
22. Finite-size effects on the lattice dynamics in spin crossover nanomaterials. I. Nuclear inelastic scattering investigation / Mirko Mikolasek [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.035426>.
23. Hopkins Patrick E. Influence of electron-boundary scattering on thermoreflectance calculations after intra- and interband transitions induced by short-pulsed laser absorption // *Physical Review B*. — 2010. — jan. — Vol. 81, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.81.035413>.
24. Ultrafast and spatially resolved studies of charge carriers in atomically thin molybdenum disulfide / Rui Wang [et al.] // *Physical Review B*. — 2012. — jul. — Vol. 86, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.86.045406>.
25. Impact of strain on the optical fingerprint of monolayer transition-metal dichalcogenides / Maja Feierabend [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.045425>.
26. Universal saturation behavior in the transient optical response of plasmonic structures / M. G. Silva [et al.] // *Physical Review B*. — 2018. — sep. — Vol. 98, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.98.115407>.
27. Pendry J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // *Phys. Rev. Lett.* — 2000. — oct. — Vol. 85, no. 18. — P. 3966–3969. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.3966>.
28. Alekseyev Leonid V., Narimanov Evgenii. Slow light and 3D imaging with non-magnetic negative index systems // *Opt. Express*. — 2006. — Vol. 14, no. 23. — P. 11184–11193. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.14.011184>.
29. Veselago V. G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ // *Usp. Fiz. Nauk*. — 1967. — Vol. 92, no. 7. — P. 517. — URL: <http://dx.doi.org/10.3367/UFNr.0092.196707d.0517>.
30. A negative permeability material at red light / H.-K. Yuan [et al.] // *Opt. Express*. — 2007. — Vol. 15, no. 3. — P. 1076. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.15.001076>.
31. Shalaev V. M., Sarychev A. K. Nonlinear optics of random metal-dielectric films // *Phys. Rev. B*. — 1998. — may. — Vol. 57, no. 20. — P. 13265–13288. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.57.13265>.
32. Гадомский О. Н., Алтунин К. К., Зубков Е. Г. Радиационная теория металлического кластера // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки*. — 2012. — № 3. — С. 144–152.
33. Уменьшение естественной ширины атомных уровней в наноструктурных системах / О. Н. Гадомский [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки*. — 2012. — № 3. — С. 153–163.

34. Усиленное оптическое пропускание композитных наноструктурных толстых плёнок с квазиулевым показателем преломления (I. Экспериментальные данные) / О. Н. Гадомский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 4. — С. 227–236.
35. Усиленное оптическое пропускание композитных наноструктурных толстых плёнок с квазиулевым показателем преломления (II. Теория) / О. Н. Гадомский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2013. — № 1. — С. 122–134.
36. Алтунин К. К. Высокоэффективные просветляющие оптические покрытия из нанокompозитных материалов с квазиулевыми показателями преломления и поглощения // Радиоэлектронная техника. — 2013. — № 1. — С. 168–177.
37. Алтунин К. К. Сверхпрозрачные композитные наноматериалы с квазиулевыми значениями показателя преломления для солнечной энергетики // Радиоэлектронная техника. — 2013. — № 1. — С. 178–189.
38. Near-field effect in composite nanomaterials with a quasi-zero refractive index / O. N. Gadomsky [et al.] // Optics Communications. — 2014. — mar. — Vol. 315. — P. 286–294. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2013.11.035>.
39. Altunin K. K., Gadomsky O. N. High-negative effective refractive index of silver nanoparticles system in nanocomposite films // Optics Communications. — 2012. — mar. — Vol. 285, no. 5. — P. 816–820. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.033>.
40. Born M., Wolf E. Principles of Optics. — Oxford : Pergamon Press, 1969. — 720 p.

Сведения об авторах:

Константин Константинович Алтунин — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Елена Сергеевна Штром — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: shtrom98@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-9648-1501

Web of Science ResearcherID  AAZ-9002-2020

Investigation of the optical properties of the interface between air and a nanocomposite medium with an extremely low refractive index

K. K. Altunin , E. S. Shtrom 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 16, 2020

Resubmitted November 30, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The optical properties of the interface between air and a nanocomposite medium activated by metal nanoparticles are considered. Numerical calculations of the effective refractive index and effective dielectric constant of a nanocomposite medium with metal nanoparticles are carried out. The graphs of the dependences of the effective refractive index and effective dielectric constant of a nanocomposite medium with metal nanoparticles on the wavelength of external optical radiation are plotted. Numerical calculations of the energy coefficients of optical reflection and optical transmission of a nanocomposite medium with metal nanoparticles have been carried out. The graphs of the dependences of the energy coefficients of optical reflection and optical transmission of a nanocomposite medium with metal nanoparticles on the wavelength of external optical radiation are plotted. At certain parameters of the matrix and the system of nanoscale inclusions, the nanocomposite medium has extremely low values of the effective refractive index. It is shown that by changing the parameters of the nanocomposite medium, it is possible to increase the reflectivity of the nanocomposite medium, which makes it possible to use the nanocomposite media under study as highly efficient antireflective coatings.

Keywords: nanomaterial, nanocomposite medium, optical radiation, optical properties, optical transmission, optical absorption, refractive index

PACS: 42.25.Bs

References

1. Well-defined metal-polymer nanocomposites: The interplay of structure, thermoplasmonics, and elastic mechanical properties / David Saleta Reig [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2018. — dec. — Vol. 2, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.2.123605>.
2. Nonlocal self-organization of long stacking faults from highly strained nanocomposite film of complex oxide / Tomoya Horide [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2019. — jan. — Vol. 3, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.3.013403>.
3. Universal saturation behavior in the transient optical response of plasmonic structures / M. G. Silva [et al.] // *Physical Review B*. — 2018. — sep. — Vol. 98, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.98.115407>.
4. Effect of nanodiamond fluorination on the efficiency of quasispecular reflection of cold neutrons / V. V. Nesvizhevsky [et al.] // *Physical Review A*. — 2018. — feb. — Vol. 97, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.97.023629>.

5. Nyman M., Shevchenko A., Kaivola M. Fluorescence enhancement and nonreciprocal transmission of light waves by nanomaterial interfaces // *Physical Review A*. — 2017. — nov. — Vol. 96, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.96.053828>.
6. Phonon Sidebands in Monolayer Transition Metal Dichalcogenides / Dominik Christiansen [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2017. — nov. — Vol. 119, no. 18. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.119.187402>.
7. Finite-size effects on the lattice dynamics in spin crossover nanomaterials. I. Nuclear inelastic scattering investigation / Mirko Mikolasek [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.035426>.
8. Impact of strain on the optical fingerprint of monolayer transition-metal dichalcogenides / Maja Feierabend [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.045425>.
9. Three-dimensional phonon population anisotropy in silicon nanomembranes / Kyle M. McElhinny [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.014301>.
10. Spectral analysis of nonequilibrium molecular dynamics: Spectral phonon temperature and local nonequilibrium in thin films and across interfaces / Tianli Feng [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — may. — Vol. 95, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.95.195202>.
11. Minnich A. J. Determining Phonon Mean Free Paths from Observations of Quasiballistic Thermal Transport // *Physical Review Letters*. — 2012. — nov. — Vol. 109, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.109.205901>.
12. Broadband phonon mean free path contributions to thermal conductivity measured using frequency domain thermorefectance / Keith T. Regner [et al.] // *Nature Communications*. — 2013. — mar. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms2630>.
13. Spectral mapping of thermal conductivity through nanoscale ballistic transport / Yongjie Hu [et al.] // *Nature Nanotechnology*. — 2015. — jun. — Vol. 10, no. 8. — P. 701–706. — URL: <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.109>.
14. Measuring Phonon Mean Free Path Distributions by Probing Quasiballistic Phonon Transport in Grating Nanostructures / Lingping Zeng [et al.] // *Scientific Reports*. — 2015. — nov. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep17131>.
15. Reconstructing phonon mean-free-path contributions to thermal conductivity using nanoscale membranes / John Cuffe [et al.] // *Physical Review B*. — 2015. — jun. — Vol. 91, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.91.245423>.
16. Lee Jaeho, Lim Jongwoo, Yang Peidong. Ballistic Phonon Transport in Holey Silicon // *Nano Letters*. — 2015. — apr. — Vol. 15, no. 5. — P. 3273–3279. — URL: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b00495>.
17. Engineering thermal conductance using a two-dimensional phononic crystal / Nobuyuki Zen [et al.] // *Nature Communications*. — 2014. — mar. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms4435>.

18. Maldovan Martin. Phonon wave interference and thermal bandgap materials // *Nature Materials*. — 2015. — jun. — Vol. 14, no. 7. — P. 667–674. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat4308>.
19. Crossover from incoherent to coherent phonon scattering in epitaxial oxide superlattices / Jayakanth Ravichandran [et al.] // *Nature Materials*. — 2013. — dec. — Vol. 13, no. 2. — P. 168–172. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat3826>.
20. Coherent Phonon Heat Conduction in Superlattices / M. N. Luckyanova [et al.] // *Science*. — 2012. — nov. — Vol. 338, no. 6109. — P. 936–939. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1225549>.
21. Observation of room-temperature ballistic thermal conduction persisting over 8.3 μm in SiGe nanowires / Tzu-Kan Hsiao [et al.] // *Nature Nanotechnology*. — 2013. — jun. — Vol. 8, no. 7. — P. 534–538. — URL: <https://doi.org/10.1038/nnano.2013.121>.
22. Phonon Transport through Point Contacts between Graphitic Nanomaterials / Juekuan Yang [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2014. — may. — Vol. 112, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.112.205901>.
23. Baughman R. H. Carbon Nanotubes—the Route Toward Applications // *Science*. — 2002. — aug. — Vol. 297, no. 5582. — P. 787–792. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1060928>.
24. Geim A. K. Graphene: Status and Prospects // *Science*. — 2009. — jun. — Vol. 324, no. 5934. — P. 1530–1534. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1158877>.
25. Ultrafast and spatially resolved studies of charge carriers in atomically thin molybdenum disulfide / Rui Wang [et al.] // *Physical Review B*. — 2012. — jul. — Vol. 86, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.86.045406>.
26. Hopkins Patrick E. Influence of electron-boundary scattering on thermoreflectance calculations after intra- and interband transitions induced by short-pulsed laser absorption // *Physical Review B*. — 2010. — jan. — Vol. 81, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.81.035413>.
27. Pendry J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // *Physical Review Letters*. — 2000. — oct. — Vol. 85, no. 18. — P. 3966–3969. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.3966>.
28. Alekseyev Leonid V., Narimanov Evgenii. Slow light and 3D imaging with non-magnetic negative index systems // *Opt. Express*. — 2006. — Vol. 14, no. 23. — P. 11184–11193. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.14.011184>.
29. Veselago V. G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ // *Usp. Fiz. Nauk*. — 1967. — Vol. 92, no. 7. — P. 517. — URL: <http://dx.doi.org/10.3367/UFNr.0092.196707d.0517>.
30. A negative permeability material at red light / H.-K. Yuan [et al.] // *Opt. Express*. — 2007. — Vol. 15, no. 3. — P. 1076. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.15.001076>.
31. Shalaev V. M., Sarychev A. K. Nonlinear optics of random metal-dielectric films // *Physical Review B*. — 1998. — may. — Vol. 57, no. 20. — P. 13265–13288. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.57.13265>.

32. Gadomsky O. N., Altunin K. K., Zubkov E. G. Radiation theory of a metal cluster // News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. — 2012. — no. 3. — P. 144–152.
33. Reducing the natural width of atomic levels in nanostructured systems / O. N. Gadomsky [et al.] // News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. — 2012. — no. 3. — P. 153–163.
34. Enhanced optical transmission of composite nanostructured thick films with quasi-zero refractive index (I. Experimental data) / O. N. Gadomsky [et al.] // News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. — 2012. — no. 4. — P. 227–236.
35. Enhanced optical transmission of composite nanostructured thick films with quasi-zero refractive index (II. Theory) / O. N. Gadomsky [et al.] // News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. — 2013. — no. 1. — P. 122–134.
36. Altunin K. K. High-performance antireflection optical coatings made of nanocomposite materials with quasi-zero refractive and absorption indices // Electronic equipment. — 2013. — no. 1. — P. 168–177.
37. Altunin K. K. Ultra-transparent composite nanomaterials with quasi-zero refractive index values for solar energy // Electronic equipment. — 2013. — no. 1. — P. 178–189.
38. Near-field effect in composite nanomaterials with a quasi-zero refractive index / O. N. Gadomsky [et al.] // Optics Communications. — 2014. — mar. — Vol. 315. — P. 286–294. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2013.11.035>.
39. Altunin K. K., Gadomsky O. N. High-negative effective refractive index of silver nanoparticles system in nanocomposite films // Optics Communications. — 2012. — mar. — Vol. 285, no. 5. — P. 816–820. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.033>.
40. Born M., Wolf E. Principles of Optics. — Oxford : Pergamon Press, 1969. — 720 p.

Information about authors:

Konstantin Konstantinovich Altunin – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Elena Sergeevna Shtrom — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: shtrom98@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-9648-1501

Web of Science ResearcherID  AAZ-9002-2020

УДК 53.01
ББК 22.383
ГРНТИ 29.01.45
ВАК 01.04.16

Разработка элементов электронного образовательного ресурса по ядерной физике

Н. Ю. Бурмистрова  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 15 октября 2020 года
После переработки 26 ноября 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассматривается процесс создания электронного образовательного ресурса по ядерной физике в рамках углубленной программы общеобразовательной школы. Исследованы теоретико-методические основы создания электронного образовательного ресурса по физике на примере избранных тем ядерной физики. Проведено описание ключевых особенностей разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике. Разработанный электронный образовательный ресурс по ядерной физике может быть использован в процессе преподавания школьного курса физики. Созданный электронный образовательный ресурс по ядерной физике на примере избранных тем из физики атомного ядра способен обеспечить информационную поддержку изучения ядерной физики в школе в условиях смешанного или дистанционного обучения физике.

Ключевые слова: ядерная физика, физика атомного ядра, физика элементарных частиц, преподавание ядерной физики, электронный образовательный ресурс

Введение

Работа посвящена описанию результата создания сайта для информационной поддержки изучения избранных тем по ядерной физике в общеобразовательной школе. В работе описаны основные теоретические и методические особенности разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике, соответствующего программе углубленного изучения физики в старшей школе. Будет произведено описание теоретико-методических основ создания электронного образовательного ресурса по физике на примере избранных тем ядерной физики по углубленной программе физики в школе.

В процессе преподавания физики по углубленной программе в школе могут широко использоваться различные технологии, сочетающие активное оснащение компьютерами, интерактивными досками, проекторами и другой мультимедийной техникой кабинетов физики, а также использование электронных курсов и электронных образовательных ресурсов по физике. Содержание не всех электронных образовательных ресурсов по физике соответствует углубленному уровню школьной образовательной программы

¹E-mail: burmistrova_natalya2010@mail.ru

по физике. Не все электронные образовательные ресурсы по физике содержат достаточное количество интерактивных элементов, позволяющих закреплять и проверять теоретические знания по физике с помощью компьютера. Некоторые электронные образовательные ресурсы по физике для школы имеют недостаточный удобный дизайн для проектирования на экраны и интерактивные доски. В качестве одной из важнейших задач профильного обучения физики становится более качественное и углубленное изучение физики, получение учениками практических навыков решения физических задач различного уровня сложности при помощи различных современных инструментов обучения физике.

Целью работы является исследование электронного образовательного ресурса по физике. Задачей работы является описание процесса разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике на примере избранных тем из физики атомного ядра и элементарных частиц. Объектом исследования является технология создания электронного образовательного ресурса по ядерной физике. Предметом исследования является процесс создания электронного образовательного ресурса по ядерной физике в рамках углубленной программы общеобразовательной школы. Новизна настоящего исследования определяется тем, что была предпринята попытка создания электронного образовательного ресурса с интерактивным и мультимедийным материалом по разделу физики «Физика атомного ядра», что позволит расширить и углубить знания учащихся старших классов по ядерной физике.

Гипотеза исследования: если использовать сочетание традиционных методов преподавания с использованием электронных образовательных ресурсов по ядерной физике, то такая система подготовки способствует эффективному формированию теоретических знаний по ядерной физике.

Методы и материалы исследования: анализ педагогической литературы по проблеме исследования, сравнение, применение, опрос учащихся.

Практическая значимость исследования состоит в возможности дальнейшего использования разработанного электронного образовательного ресурса по ядерной физике, как для самостоятельного источника для изучения темы по ядерной физике в школьном курсе физики, так и на уроках физики в общеобразовательной школе в качестве средства информационной поддержки на уроке. Также используя в качестве основы данную технологию создания электронных образовательных ресурсов, можно будет разрабатывать электронные образовательные ресурсы и электронные курсы по любой другой теме физики для курса физики в школе.

Обзор научных работ по созданию курсов по ядерной физике

В настоящее время существует достаточно много изданий лекционных курсов по ядерной физике [1–4]. Все лекционные курсы содержат структурированный теоретический материал по основным разделам курса по ядерной физике и предназначены для студентов вузов. Рассмотрению методов и методических вопросов решения задач по ядерной физике уделяется значительное внимание в [5–8]. Существуют более специфические пособия, предназначенные в помощь студентам при освоении теоретического курса по курсу «Основы ядерной физики, радиохимии и дозиметрии» и выполнении лабораторных работ по методам концентрирования и разделения радионуклидов [9]. Использование программного обеспечения для визуализации процессов прохождения излучения через вещество в преподавании дисциплины «Ядерная физика» обсуждалось в [10].

В качестве основного учебника при чтении вузовского лекционного курса «Физика атомного ядра и элементарных частиц» часто используется учебник [11]. В качестве дополнительной литературы при чтении вузовского лекционного курса «Физика атомного

ядра и элементарных частиц” часто используются [12–14]. В пособии [15] содержатся задания к практическим занятиям, задания для контрольных работ, задания к семинарам и вопросы для конспектирования, вопросы к экзамену по курсу “Физика атомного ядра и элементарных частиц”.

Изучение современной литературы об электронных образовательных ресурсах, приводит к выводу, что электронные образовательные ресурсы и электронные курсы являются неотъемлемой частью современной модернизации среднего школьной образования. Несмотря на то, что использование сайтов возможно в коммерческих и образовательных целях, следует выделить сайты с образовательными целями.

Результат разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике

Большинство общеобразовательных школ встречают ряд проблем при организации профильного обучения физике. Во многих случаях, основная проблема — недостаточное количество учеников для комплектации профильных классов. Удовлетворить потребность учеников в более глубоком изучении физики, с целью продолжения обучения в вузе, поможет элективный курс, расширяющий базовое содержание учебного предмета.

Одним из таких курсов может быть электронный курс по ядерной физике, где уровень обучения повышается не столько за счёт расширения теоретической части курса ядерной физики, сколько за счёт углубления практической части — разбора и решения разнообразных физических задач.

Целью разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике является необходимость систематизировать, углубить знания учащихся по ядерной физике для успешной сдачи единого государственного экзамена по физике.

Программа курса по ядерной физике рассчитана на 68 часов или 2 часа в неделю. Курс ядерной физики опирается на знания, полученные при изучении предыдущих разделов физики.

В работе выбрана технология создания электронного образовательного ресурса по ядерной физике на основе инструментария Google Sites, которая позволяет размещать теоретические материалы и задания на страницах сайта с организацией выполнения заданий в коллективных документах, таблицах и презентациях.

Первый этап разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике заключается в выборе основных теоретических источников, разработке структуры электронного образовательного ресурса по ядерной физике, включая оглавление, перечень определений и понятий ядерной физики. На втором этапе разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике происходит распределение текстов в модули по разделам электронного образовательного ресурса по ядерной физике, а также реализация гипертекстовых страниц с теоретическим материалом по ядерной физике. На третьем этапе разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике происходит разработка компьютерной поддержки и отбор теоретического материала по ядерной физике для мультимедийного воплощения, разработка звукового сопровождения элементов электронного образовательного ресурса по ядерной физике. На третьем этапе разработки электронного образовательного ресурса по ядерной физике происходит подготовка материала для визуализации и визуализация теоретического материала по ядерной физике.

Любой электронный образовательный ресурс должен включать в себя следующие обязательные компоненты: средства изучения теоретических основ дисциплины; средства поддержки практических занятий; средства контроля знаний; средства взаимодействия между учителем и учащимися; методические рекомендации по изучению дисциплины; средства управления процессом изучения дисциплины. При этом электронный

образовательный ресурс должен отвечать следующим требованиям: чёткая структуризация предметного материала; наличие рекомендаций по изучению дисциплины; компактность представленного информационного материала; графическое оформление и наличие иллюстративного материала; включение промежуточного и текущего контроля знаний.

Производится разбиение материала на разделы, состоящие из модулей, минимальных по объёму, но замкнутых по содержанию, а также составляется перечень понятий, которые необходимы и достаточны для овладения предметом. При разработке электронного учебника целесообразно подбирать в качестве источников такие печатные и электронные издания, которые наиболее полно соответствуют стандартной программе, лаконичны и удобны для создания гипертекстов, содержат большое количество примеров и задач, имеются в удобных форматах (принцип собираемости).

Электронные издания, рассчитанные на заочную форму обучения физике, должны кроме основного текста включать контрольные, практические задания, а также задания для самопроверки знаний по каждому смысловому фрагменту курса физики. Для такого издания важно наличие гиперссылок, включающие в себя дополнительный текст, указатели, списки определений, мультимедиа.

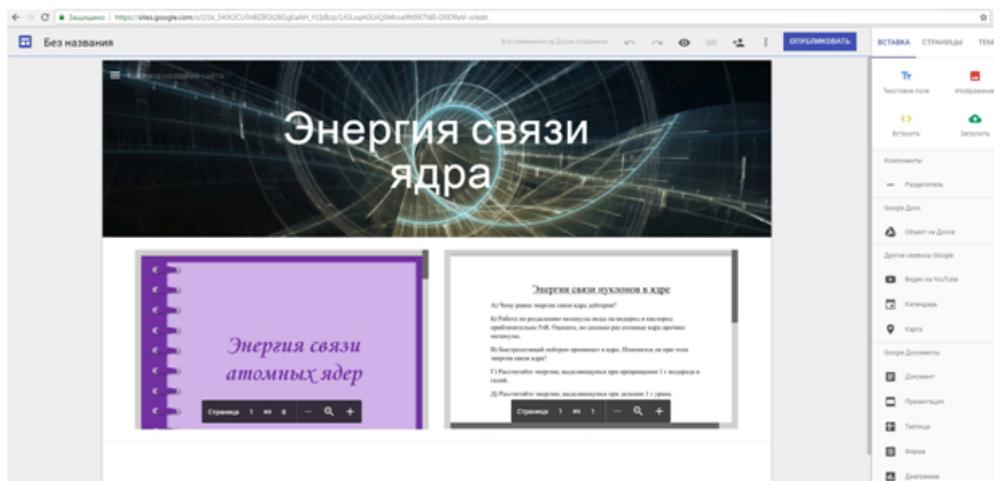


Рис. 1. Страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением энергии связи нуклонов в ядре.

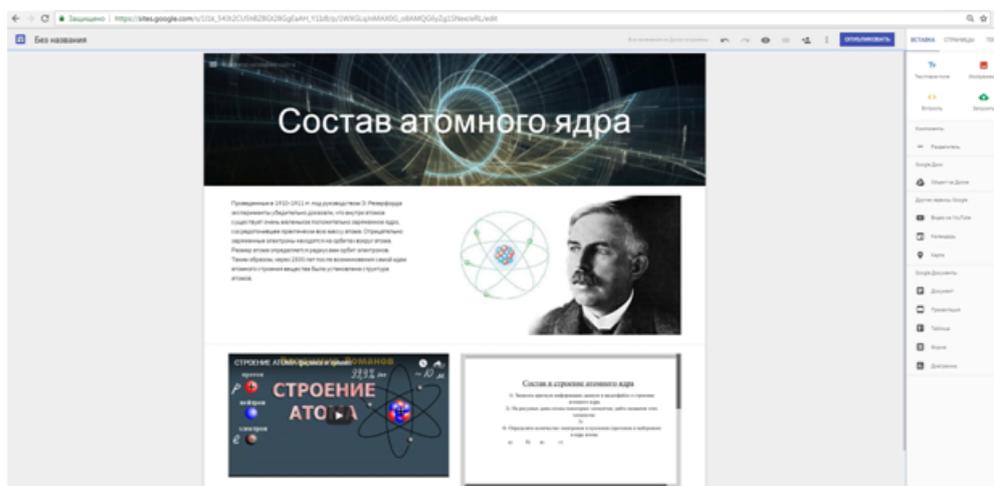


Рис. 2. Страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением состава атомного ядра.

На рис. 1 изображена страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением энергии связи нуклонов в ядре. На рис. 2 изображена страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением состава атомных ядер.

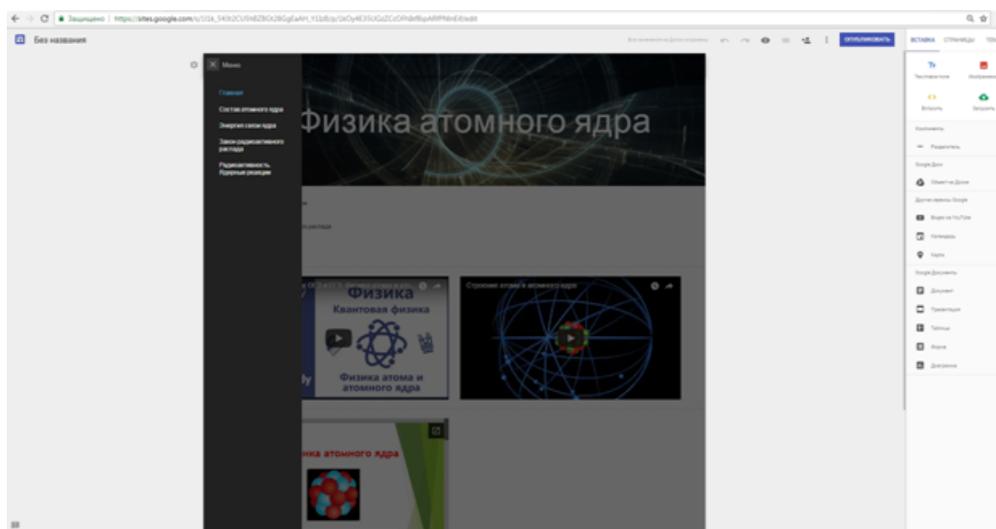


Рис. 3. Страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра в режиме обращения к меню образовательного сайта.

На рис. 3 изображена страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра в режиме обращения к меню образовательного сайта по физике атомного ядра.

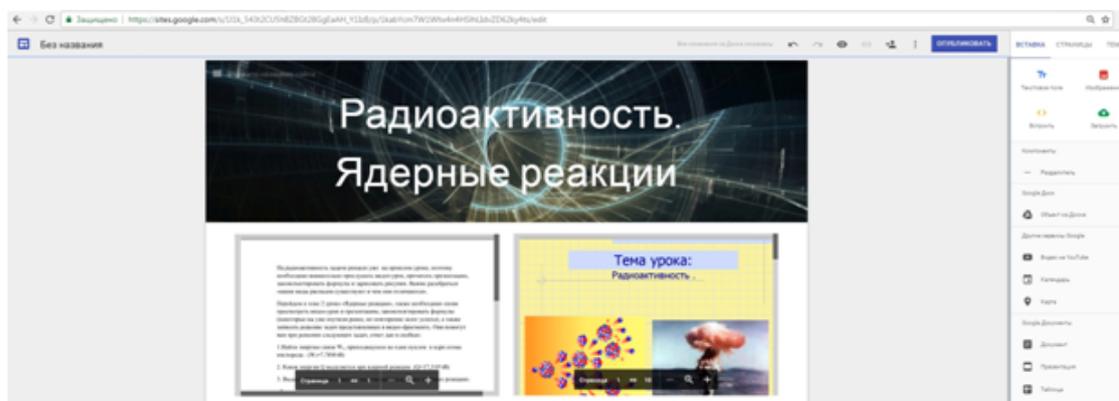


Рис. 4. Страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением радиоактивности и ядерных реакций.

Основная форма обучения, с целью освоения материала и приобретения практических навыков по решению физических задач. Лекции носят обзорный характер и предназначены для повторения содержания темы. Теоретический материал удобнее обобщить в виде таблиц, форму которых предлагает учитель, а заполнить их должны ученики самостоятельно. На рис. 4 изображена страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением радиоактивности и ядерных реакций. На странице используются ссылки на образовательные видеоролики по школьному курсу физики старших классов, соответствующие углубленной программе изучения физики в классах технологического профиля общеобразовательной школы.

На рис. 5 изображена страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением закона радиоактивного распада. Важным

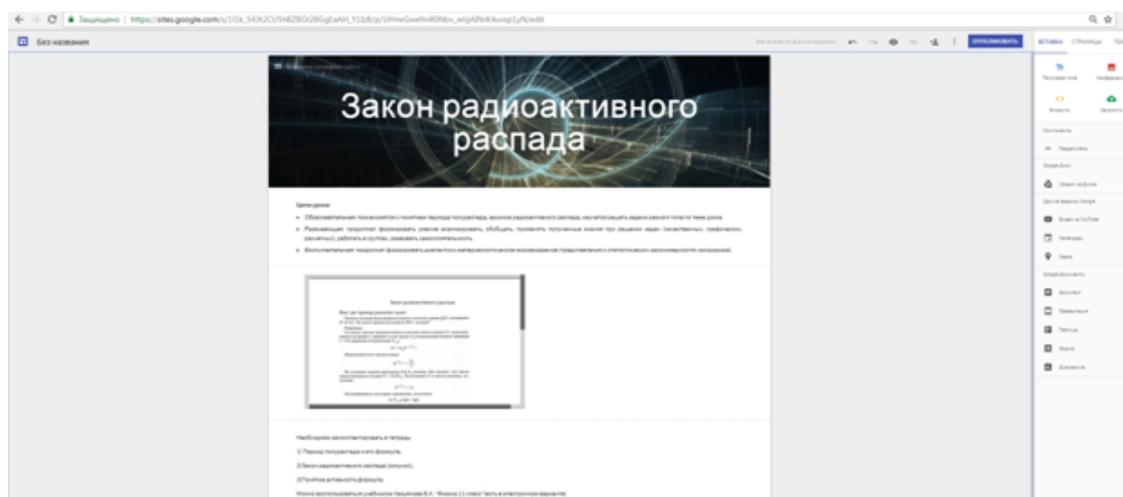


Рис. 5. Страница электронного образовательного ресурса по физике атомного ядра, связанная с изучением закона радиоактивного распада.

элементом обучения являются алгоритмы решения задач, на которых следует заострять внимание учеников. Причём, как для решения физических задач в стандартных ситуациях, так и в изменённых условиях. При решении задач рекомендуется широко использовать аналогии, графические методы, интерактивные модели.

Главным элементом контроля знаний является контрольная работа по ядерной физике. Главной целью контрольной работы по ядерной физике является возможность ученикам проверить свои теоретические знания по ядерной физике. Исходя из этого, контрольной работе не обязательно включать в себя равноценные варианты, а наоборот, возможен подбор широкого круга заданий, с целью охвата всего материала. Домашним заданием могут быть другие варианты контрольной работы.

На главной странице электронного образовательного ресурса с сайтовой структурой размещено анкетирование “Что вы ожидаете от данного курса?”, добавлена подстраница “Контрольная работа 1” и итоговое анкетирование “Оправдались ли ваши ожидания от курса?”.

Заключение

После преобразования печатных учебных изданий по физике по разделу “Физика атомного ядра” в электронное с интерактивными и мультимедийными заданиями был внесен некоторый элемент новизны, который разнообразит учебный процесс и улучшит качество, приобретаемых школьниками знаний. Данный электронное пособие будет интересно студентам, повысит их мотивацию в изучении учебного курса, предоставит возможность преподавателю адекватно оценить уровень знаний школьников вне зависимости от внешних факторов.

Электронные образовательные ресурсы по физике должны отвечать ряду требований, таких как конкурентоспособность среди других курсов и его значимость для учеников, с целью их личностного, профессионального и социального самоопределения в будущем. Разработанный электронный образовательный ресурс по ядерной физике может быть использован в школьном курсе физики. Созданный электронный образовательный ресурс по ядерной физике на примере избранных тем из физики атомного ядра способен обеспечить информационную поддержку изучения ядерной физики в школе в условиях смешанного или дистанционного обучения физике.

Гипотеза исследования, состоящая в необходимости сочетания традиционных методов преподавания с использованием электронных образовательных ресурсов для успеш-

ного формированию теоретических знаний по ядерной физике, подтверждена полностью.

Разработанный электронный образовательный ресурс по избранным темам ядерной физики может быть использован в процессе преподавания школьного курса физики по программе углубленного изучения физики в школе.

Список использованных источников

1. Быкова Н. Т., Корнев К. П. Курс общей физики. Атомная и ядерная физика : учебное пособие для студентов заочного отделения технических специальностей. — Калининград : Издательство БГАРФ, 2012. — 96 с.
2. Гончар И. И., Крохин С. Н., Чушнякова М. В. Свойства атомных ядер и элементарных частиц : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям. — Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2013. — 53 с.
3. Пахотин В. А., Бессонов В. А., Молостова С. В. Курс лекций по оптике, атомной и ядерной физике : для студентов нефизических специальностей. — Калининград : Издательство Калининградского государственного университета, 2004. — 208 с.
4. Пустынский Л. Н. Конспект лекций по курсу “Экспериментальные методы ядерной физики”. — Обнинск : Обнинский государственный технический университет атомной энергетики, 2009. — 135 с.
5. Корявов В. П. Методы решения задач в общем курсе физики. Атомная и ядерная физика : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению “Прикладная математика и физика” и по другим направлениям и специальностям в области математических и естественных наук, техники и технологии. — Москва : Студент, 2012. — 325 с.
6. Практикум по решению задач по общему курсу физики. Основы квантовой физики. Строение вещества. Атомная и ядерная физика : учебное пособие по физике для студентов, обучающихся по техническим направлениям и специальностям / Н. П. Калашников [и др.]. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2014. — 237 с.
7. Кузнецов С. И. Курс физики с примерами решения задач. Часть III. Геометрическая и волновая оптика. Элементы атомной и ядерной физики. Основы физики элементарных частиц : учебное пособие. — Томск : Издательство: Томский политехнический университет, 2015. — 302 с.
8. Мартыненко Т. П. Практический курс физики. Квантовая физика. Элементы физики твердого тела и ядерной физики. — Москва : ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 2007. — 196 с.
9. Егоров Ю. В., Бетенеков Н. Д., Пузако В. Д. Методы концентрирования и разделения радионуклидов : учебно-методическое пособие. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2016. — 128 с. — URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/42417/1/978-5-7996-1834-6_2016.pdf.
10. Рябухин О. В., Емельянов А. Ю. Использование средств визуализации в преподавании дисциплины “Ядерная физика” // В сборнике: Новые информационные технологии в образовании материалы IX международной научно-практической конференции. — Екатеринбург : Издательство: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2016. — С. 322–325.

11. Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц : учебник. — Москва : Физматлит, 2010. — 512 с. — ISBN: 978-5-9221-1250-5. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75503>.
12. Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : в 2 томах : [учебник для физических специальностей вузов]. Т. 1 : Физика атомного ядра. — Москва : Энергоатомиздат, 1983. — 616 с.
13. Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : в 2 томах : [учебник для физических специальностей вузов]. Т. 2 : Физика элементарных частиц. — Москва : Энергоатомиздат, 1983. — 376 с.
14. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. — Москва : Наука, 1980. — 728 с. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450094>.
15. Алтунин К. К. Теоретическая физика атомного ядра и элементарных частиц : учебно-методическое пособие. — Москва : Издательство: Директ-Медиа, 2014. — 71 с.

Сведения об авторах:

Наталья Юрьевна Бурмистрова — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: burmistrova_natalya2010@mail.ru

ORCID iD  0000-0001-6636-0461

Web of Science ResearcherID  АВН-5440-2020

Development of elements of an electronic educational resource on nuclear physics

N. Yu. Burmistrova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted October 15, 2020

Resubmitted November 26, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The process of creating an electronic educational resource on nuclear physics in the framework of an in-depth program of a general education school is considered. The theoretical and methodological foundations of the creation of an electronic educational resource in physics are investigated on the example of selected topics of nuclear physics. The description of the key features of the development of an electronic educational resource in nuclear physics is carried out. The developed electronic educational resource on nuclear physics can be used in the process of teaching a school physics course. The created electronic educational resource on nuclear physics using the example of selected topics from the physics of the atomic nucleus is able to provide information support for the study of nuclear physics at school in the conditions of mixed or distance learning physics.

Keywords: nuclear physics, physics of the atomic nucleus, physics of elementary particles, teaching nuclear physics, electronic educational resource

PACS: 01.40.Di

References

1. Altunin K. K. Theoretical physics of the atomic nucleus and elementary particles: teaching aid. — Moscow : Publisher: Direct-Media, 2014. — 71 p.
2. Bykova N. T., Kornev K. P. Course in General Physics. Atomic and nuclear physics: a textbook for students of the correspondence department of technical specialties. — Kaliningrad : BGARF Publishing House, 2012. — 96 p.
3. Gonchar I. I., Krokhin S. N., Chushnyakova M. V. Properties of atomic nuclei and elementary particles: a textbook for university students studying in technical areas of training and specialties. — Omsk : Omsk State Transport University, 2013. — 53 p.
4. Egorov Yu. V., Betenekov N. D., Puzako V. D. Methods of concentration and separation of radionuclides: a teaching aid. — Yekaterinburg : Ural Federal University, 2016. — 128 p. — URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/42417/1/978-5-7996-1834-6_2016.pdf.
5. Workshop on solving problems in the general course of physics. Fundamentals of Quantum Physics. The structure of matter. Atomic and Nuclear Physics: a textbook in physics for students enrolled in technical areas and specialties / N. P. Kalashnikov [et al.]. — St. Petersburg [and others] : Doe, 2014. — 237 p.
6. Kapitonov I. M. Introduction to Nuclear and Particle Physics: Textbook. — Moscow : Fizmatlit, 2010. — 512 p. — ISBN: 978-5-9221-1250-5. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75503>.

7. Koryavov B. P. Methods of solving problems in the general course of physics. Atomic and nuclear physics: a textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of “Applied Mathematics and Physics” and in other areas and specialties in the field of mathematical and natural sciences, engineering and technology. — Moscow : Student, 2012. — 325 p.
8. Kuznetsov C. I. Course in physics with examples of problem solving. Part III. Geometric and wave optics. Elements of atomic and nuclear physics. Fundamentals of elementary particle physics: a tutorial. — Tomsk : Publisher: Tomsk Polytechnic University, 2015. — 302 p.
9. Martynenko T. P. Practical physics course. The quantum physics. Elements of solid state physics and nuclear physics. — Moscow : VVIA named after N. E. Zhukovsky, 2007. — 196 p.
10. Mukhin K. N. Experimental nuclear physics: in 2 volumes: textbook for physics specialties of universities. Vol. 1: Physics of the Atomic Nucleus. — Moscow : Energoatomizdat, 1983. — 616 p.
11. Mukhin K. N. Experimental nuclear physics: in 2 volumes: textbook for physics specialties of universities. Vol. 2: Elementary Particle Physics. — Moscow : Energoatomizdat, 1983. — 376 p.
12. Pakhotin B. A., Bessonov V. A., Molostova S. V. Course of lectures on optics, atomic and nuclear physics: for students of non-physical specialties. — Kaliningrad : Kaliningrad State University Publishing House, 2004. — 208 p.
13. Pustynsky L. N. Lecture notes for the course “Experimental methods of nuclear physics”. — Obninsk : Obninsk State Technical University of Nuclear Energy, 2009. — 135 p.
14. Ryabukhin O. V., Emelyanov A. Yu. The use of visualization tools in teaching the discipline “Nuclear Physics” // In the collection: New information technologies in education materials of the IX International Scientific and Practical Conference. — Yekaterinburg : Publisher: Russian State Professional Pedagogical University, 2016. — P. 322–325.
15. Shirokov Yu. M., Yudin N. P. Nuclear Physics. — Moscow : Science, 1980. — 728 p. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450094>.

Information about authors:

Natalya Yurievna Burmistrova — Master’s student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: burmistrova_natalya2010@mail.ru

ORCID iD  0000-0001-6636-0461

Web of Science ResearcherID  ABH-5440-2020

УДК 536
ББК 22.36
ГРНТИ 29.17.01
ВАК 01.04.02

Разработка электронного образовательного ресурса в виде сайта по молекулярной физике и термодинамике

Е. Е. Волкова ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 5 октября 2020 года

После переработки 23 ноября 2020 года

Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Представлены основные результаты разработки электронного образовательного ресурса в виде сайта по молекулярной физике и термодинамике. Описаны результаты разработки модульной структуры электронного образовательного ресурса, теоретических и контролирующих материалов учебной дисциплины по молекулярной физике и термодинамике. Проанализированы данные по успеваемости студентов второго курса педагогического университета по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» при обучении с использованием традиционной и смешанной технологий обучения молекулярной физике и термодинамике. Показано, что если использовать смешанную технологию обучения молекулярной физике и термодинамике с применением электронного образовательного ресурса в виде сайта, созданного при помощи инструментария Google Sites, то увеличится наглядность представления материалов курса по молекулярной физике и термодинамике, что повысит у студентов заинтересованность в изучении молекулярной физики и термодинамики.

Ключевые слова: молекулярная физика, термодинамика, электронный образовательный ресурс, сайт, информационные технологии обучения, смешанная технология обучения физике

Введение

В течение последних десяти лет возрастает роль информационных технологий обучения, интенсивно развиваются смешанные технологии обучения физики с применением различных информационных и коммуникационных технологий обучения.

Целью работы является описание результатов создания электронного образовательного ресурса по молекулярной физике и термодинамике при помощи инструментария Google Sites, предназначенного для студентов первого курса направления подготовки по педагогическому образованию с двумя профилями подготовки по физике и математике или по физике и информатике.

Задача исследования состоит в разработке модульной структуры электронного образовательного ресурса и материалов учебной дисциплины по молекулярной физике и термодинамике.

¹E-mail: liza_volkova1999@mail.ru

Объектом исследования является электронный образовательный ресурс по молекулярной физике и термодинамике при помощи инструментария Google Sites, предназначенного для студентов первого курса направления подготовки по педагогическому образованию с двумя профилями подготовки по физике и математике или по физике и информатике.

Предметом исследования являются процесс разработки электронного образовательного ресурса по молекулярной физике и термодинамике при помощи инструментария Google Sites, предназначенного для студентов первого курса направления подготовки по педагогическому образованию с двумя профилями подготовки по физике и математике или по физике и информатике.

Актуальность создания сайта по молекулярной физике и термодинамике обусловлена необходимостью использования образовательного потенциала информационных технологий в физике и недостаточной разработанностью педагогических средств, нацеленных на повышение эффективности образовательного процесса в университете.

Гипотеза исследования заключается в том, что если использовать смешанную технологию обучения молекулярной физике и термодинамике с применением электронного образовательного ресурса в виде сайта, созданного при помощи инструментария Google Sites, то увеличится наглядность представления материалов курса по молекулярной физике и термодинамике, что повысит у студентов заинтересованность в изучении молекулярной физики и термодинамики.

В качестве методов исследования используются анализ и наблюдение за образовательным процессом по молекулярной физике и термодинамике в педагогическом университете.

В качестве материалов исследования выбраны материалы курса по молекулярной физике и термодинамике, который читается в педагогическом университете.

Практическая значимость исследования состоит в том, что разработанный электронный образовательный ресурс в виде сайта по молекулярной физике и термодинамике может быть использован в учебном процессе педагогического университета при проведении занятий по смешанной форме обучения по курсу «Молекулярная физика и термодинамика» в качестве информационной поддержки изучения молекулярной физики и термодинамики.

Обзор работ по электронным образовательным ресурсам по молекулярной физике и термодинамике

Рассмотрим обзор научных работ, посвящённых описанию различных аспектов создания и использования электронных образовательных ресурсов по молекулярной физике и термодинамике.

В [1] анализируется, как на выдвинутых теоретических принципах, включающих наукообразность, социокультурную сообразность и профессиональную направленность курса, можно построить раздел «Молекулярная физика и термодинамика», а также приводятся результаты экспериментального преподавания этого раздела курса в педагогическом вузе. В соответствии с современным наполнением методологических принципов, определяющих логику построения курса общей физики, и изменяющимися функциями учителя предлагается в качестве единицы построения курса общей физики рассматривать научную концепцию и выстраивать курс согласно методологической линии от концепции, далее к разделам, затем к теории, потом к темам.

В работе [2] показано, что преподавание общих и специальных дисциплин на физическом факультете невозможно без демонстрационного эксперимента, но не всегда материальная база лаборатории соответствует современному уровню технического оснащения. Использование устаревшего оборудования снижает интерес к предмету, так как,

студенты не видят применения полученным навыкам работы с приборами в их дальнейшей производственной деятельности. Выходом из такой проблемной ситуации может служить использование интерактивных образовательных моделей. В связи с этим авторами разработаны интерактивные компьютерные модели в виде отдельных программных модулей, предназначенные для демонстрации тепловых процессов в системах с изменяемым числом частиц при изучении первого и второго начал термодинамики в курсе «Молекулярная физика».

Статья [3] посвящена дальнейшему развитию технической реализации удалённого доступа к лабораторным установкам и результатам использования лабораторного комплекса в учебном процессе. На кафедре «Общая физика и ядерный синтез» НИИ «МЭИ» разработан электронный образовательный ресурс по термодинамике и молекулярной физике для студентов вузов и школ. Электронный образовательный ресурс является составной частью автоматизированной лаборатории с удалённым доступом через Интернет к экспериментальным установкам НИИ «МЭИ». Созданный электронный образовательный ресурс состоит из пяти интерактивных лекций по термодинамике и молекулярной физике, описаний пяти лабораторных работ, компьютерных моделей лабораторных работ, программ для управления установками удалённого доступа, видеороликов, поясняющих порядок проведения измерений на установках удалённого доступа, интерактивных тестов. Интерактивные обучающие программы электронного образовательного ресурса поддерживаются в среде созданного сайта.

В статье [4] описана созданная система дистанционного управления экспериментом, обеспечивающая возможность доступа студентов к лабораторным ресурсам Национального исследовательского университета «МЭИ» в многопользовательском режиме в реальном времени. Основными составляющими структур системы удалённой лаборатории являются: удалённые пользователи, главный сервер, удалённая учебная лаборатория с автоматизированной экспериментальной настройкой, видеоканалы и аудиоканалы для обмена информацией с пользователями в режиме реального времени, программа управления лабораторными приборами, программа учёта и оценки.

В работе [5] представлены новые современные методики проведения лабораторных занятий с учащимися по курсу общей физики. Представлены учебные лаборатории термодинамики и молекулярной физики, оснащенные новым оборудованием, позволяющим применить компьютерные средства обучения, что существенно повышает мотивацию студентов в лабораторном практикуме, а также качество приобретаемых студентами знаний и навыков.

В статье [6] рассматривается применение электронных образовательных ресурсов в современном учебном процессе, анализируются возможности использования электронно-образовательных ресурсов на различных видах занятий по физике, а также предлагается внедрять оптимальные варианты алгоритмов мультимедийных презентаций в образовательном процессе с применением электронных образовательных ресурсов.

Статья [7] посвящена проблеме формирования самостоятельности студентов в проектировании учебного процесса и средств его дидактического обеспечения. Рассматривается содержание понятия «самостоятельность», условия формирования самостоятельности личности в учении. Обсуждается технология продуктивного обучения в контексте развития самостоятельности обучаемых. Представлен опыт формирования самостоятельности студентов в рамках учебной дисциплины по основам педагогического проектирования. Доказывается успешность применения в обучении комплекса педагогических технологий: продуктивного и проблемного обучения, формирования обобщенных умений, коллективных способов обучения и дистанционных технологий организации учебного процесса. Приведены результаты педагогического эксперимента по формированию готовности студентов к разработке электронных образовательных ресурсов.

В статье [8] приведены положения компетентностного и деятельностного подходов и результаты их применения к организации методической подготовки студентов. Цели обучения представлены как система независимых типовых профессиональных задач. Содержание обучения раскрыто во взаимосвязи действий и знаний как метод решения каждой типовой задачи и знания – ориентиры для каждого действия метода. Предложена модульная структура методической подготовки: модули выделены по типовым профессиональным задачам. Самостоятельная работа студентов организуется в форме проектной деятельности.

В статье [9] рассматривается проблема математической подготовки студентов, необходимой для изучения молекулярной физики. В ходе исследования был выявлен объем недостающих знаний по математике. В процессе обучения студентов молекулярной физике был разработан комплекс домашних заданий, выполнение которых способствовало актуализации имеющихся и восполнению недостающих знаний по математике.

Система обеспечения фундаментальных знаний по общему курсу физики рассматривается в статье [10].

В работе [11] рассматриваются актуальные методические проблемы, связанные с преподаванием физики на технических факультетах университета. Рассмотрены перспективные возможности, пути и методы внедрения информационных технологий при модернизации образовательного процесса по физике с учетом организующих составляющих дисциплины. Предложен вниманию собственный опыт проведения лекционных занятий с использованием электронного конспекта лекций, мультимедиа оборудования. Дано подробное обоснование целесообразности использования виртуального лабораторного практикума по физике. Изложен опыт по организации контроля знаний студентов методом тестирования на компьютере.

В статье [12] рассмотрены особенности разработки электронного образовательного ресурса по физике в TurboSite для классов с углубленным изучением физики. Обсуждаются результаты разработки системы тестовых заданий в рамках электронного образовательного ресурса по механике и термодинамике.

Проведенный анализ работ показывает актуальность разработки электронных образовательных ресурсов по молекулярной физике и термодинамике для университетов.

Результаты разработки электронного образовательного ресурса в виде сайта по молекулярной физике и термодинамике

Опишем результаты разработки модульной структуры электронного образовательного ресурса, теоретических и контролирующих материалов учебной дисциплины по молекулярной физике и термодинамике. Структура сайта по молекулярной физике и термодинамике должна создавать условия для эффективной учебной деятельности студентов по освоению содержания молекулярной физики и термодинамики, для приведения теоретических знаний по молекулярной физике и термодинамике в систему. Сайт по молекулярной физике и термодинамике носит информационную направленность, что позволяет разъяснить особенности рабочей программы учебной дисциплины «Молекулярная физика и термодинамика».

Главная страница образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике, созданного в Google Sites, изображена на рис. 1.

Страница с введением в курс по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 2. Страница с введением содержит определения молекулярной физики и упоминания основоположников молекулярной физики и термодинамики.

Страница с компетенциями курса по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites

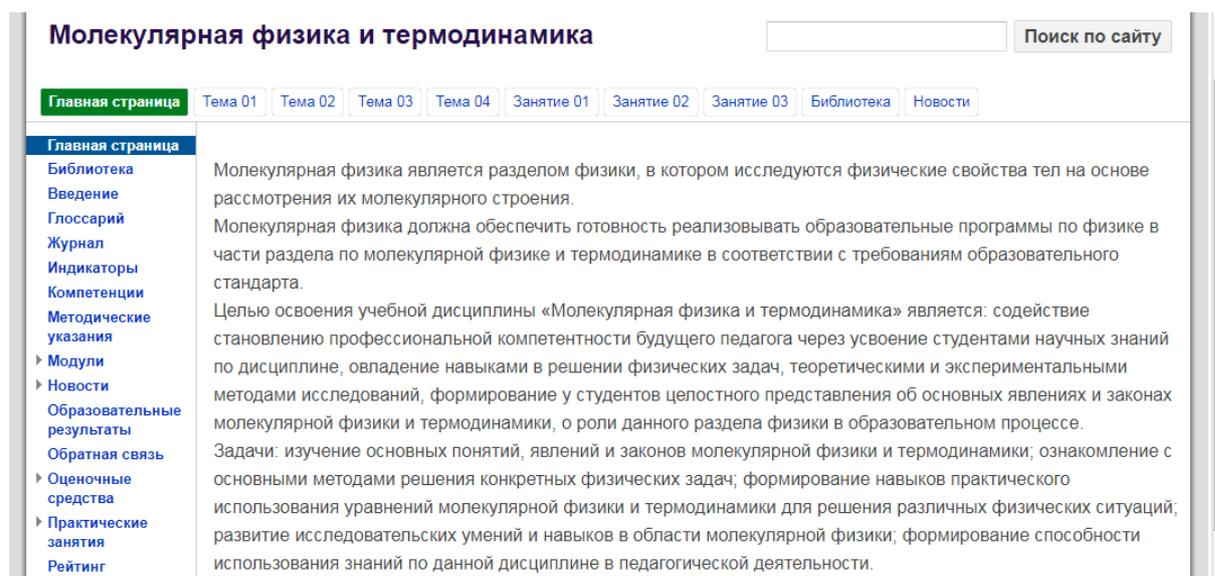


Рис. 1. Главная страница образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

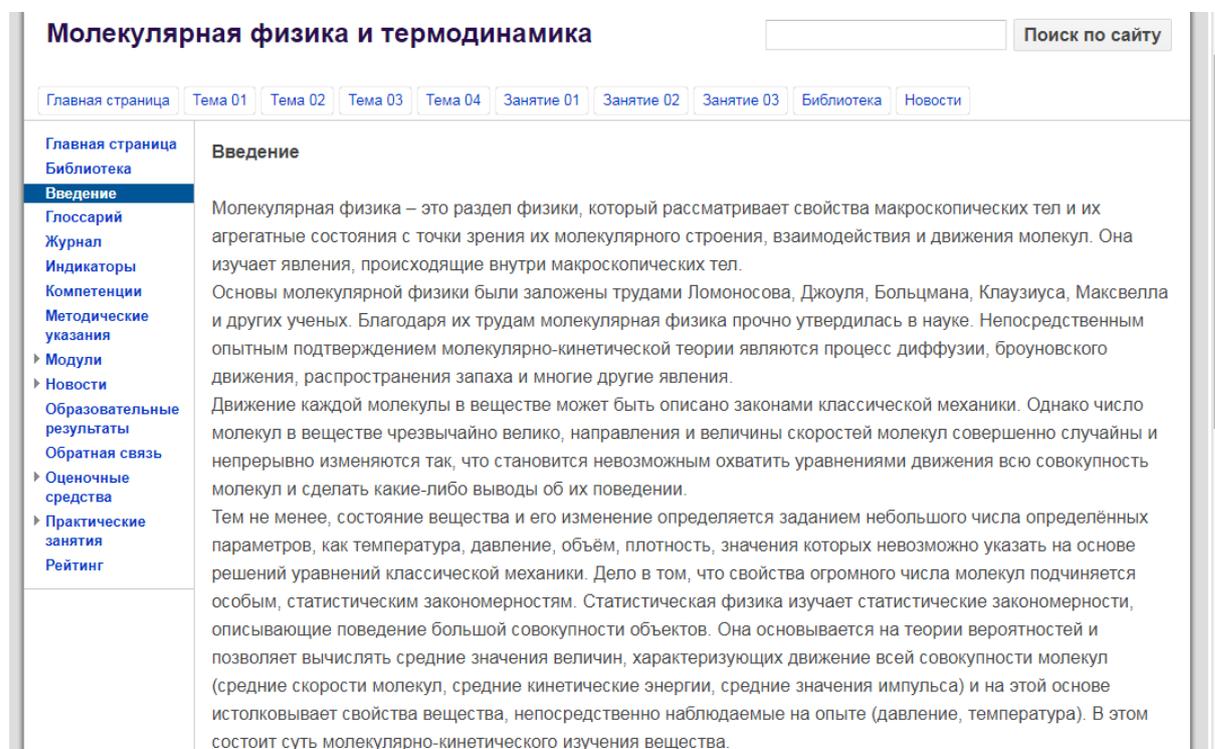


Рис. 2. Страница с введением в курс по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

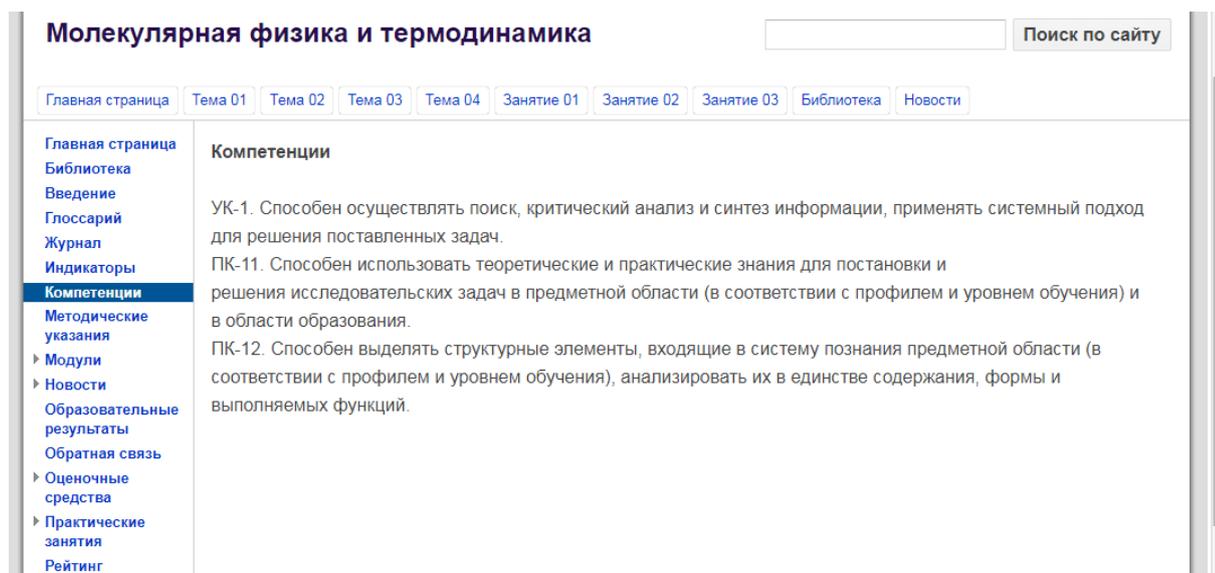


Рис. 3. Страница с компетенциями курса по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

изображена на рис. 3.

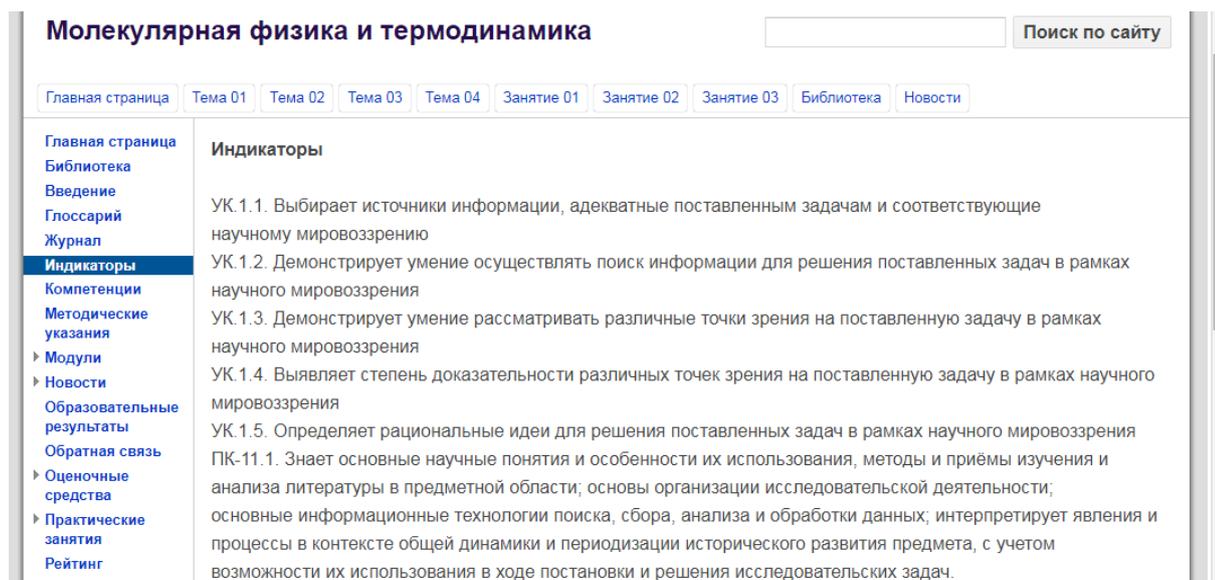


Рис. 4. Страница с индикаторами курса по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Страница с индикаторами курса по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 4.

Страница с образовательными результатами курса по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 5.

Страница с основной и дополнительной литературой по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 6. Печатные издания могут быть найдены в библиотеке университета, а электронные издания можно прочитать, если перейди по

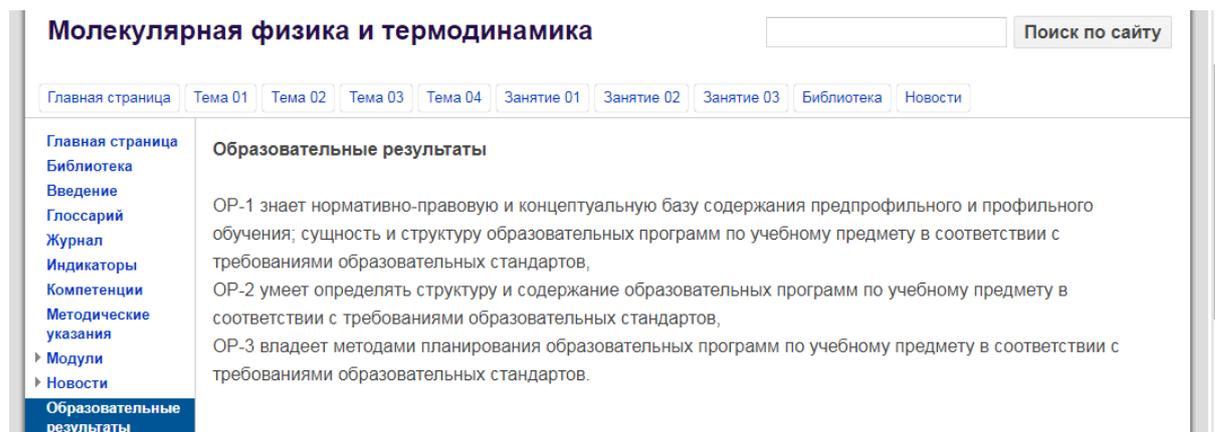


Рис. 5. Страница с образовательными результатами курса по молекулярной физике и термодинамике в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

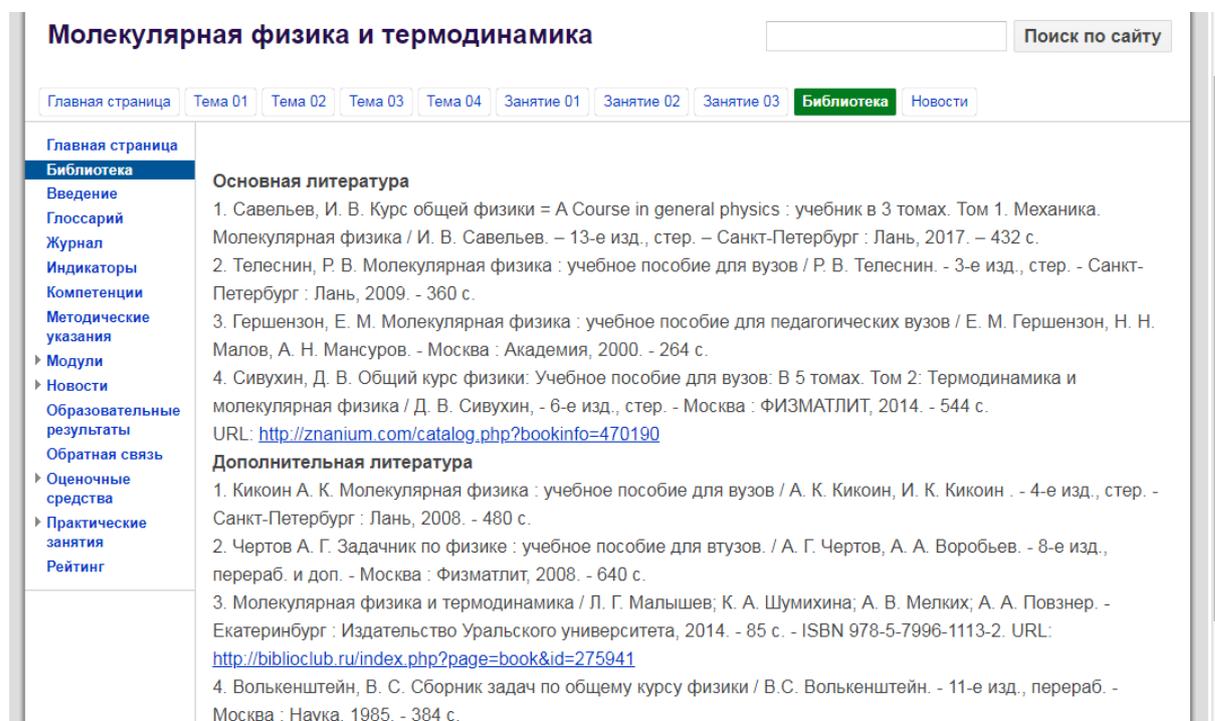


Рис. 6. Страница с основной и дополнительной литературой по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

гипертекстовой ссылке из библиографического описания источника в списке литературы по молекулярной физике и термодинамике. В списке литературы по молекулярной физике и термодинамике имеются, как классические учебники по молекулярной физике и термодинамике, так и сборники задач.

Молекулярная физика и термодинамика

Поиск по сайту

Главная страница | Тема 01 | Тема 02 | Тема 03 | Тема 04 | Занятие 01 | Занятие 02 | Занятие 03 | Библиотека | Новости

Методические указания

Успешное изучение курса требует от обучающихся посещения лекций, активной работы на лабораторных занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Запись лекции – одна из форм активной самостоятельной работы обучающихся, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. В конце лекции преподаватель оставляет время (5 минут) для того, чтобы обучающиеся имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Из-за недостаточного количества аудиторных часов некоторые темы не удается осветить в полном объеме, поэтому преподаватель, по своему усмотрению, некоторые вопросы выносит на самостоятельную работу студентов, рекомендует ту или иную литературу. Кроме этого, для лучшего освоения материала и систематизации знаний по дисциплине, необходимо постоянно разбирать материалы лекций по конспектам и учебным пособиям. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Подготовка к лабораторным занятиям.

При подготовке к лабораторным занятиям студент должен изучить теоретический материал по теме занятия (использовать конспект лекций, изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, при необходимости дополнить конспект, делая в нем соответствующие записи из литературных источников). В случае затруднений, возникающих при освоении теоретического материала, студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. В начале лабораторного занятия преподаватель знакомит студентов с темой, оглашает план проведения занятия, выдает задание. В течение отведенного времени на выполнение работы студент может обратиться к преподавателю за консультацией или разъяснениями. В конце занятия проводится приём выполненных работ, собеседование со студентом.

Рис. 7. Страница с методическими указаниями по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Страница с методическими указаниями по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 7. Страница с методическими указаниями по курсу молекулярной физики и термодинамики содержит краткие указания о работе на лекциях, практических занятиях, лабораторных занятиях, семинарах по молекулярной физике и термодинамике.

Страница со списком вопросов к экзамену по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 8. Список вопросов к экзамену по курсу молекулярной физики и термодинамики включает в себя вопросы по молекулярно-кинетической теории газов, элементам статистической теории газов, термодинамике, теории различных термодинамических явлений.

Страница с описанием формирования балльно-рейтинговой оценки работы студентов по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 9. Трудоёмкость учебной дисциплины по молекулярной физике и термодинамике составляет 4 зачётные единицы. Поэтому максимальный балл по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» составляет 400 баллов. За посещение лекций по молекулярной физике и термодинамике студент может набрать 12 баллов. За посещение лабораторных занятий по молекулярной физике и термодинамике студент может набрать 20 баллов. За систематическую работу на практических, лабораторных и семинарских

Молекулярная физика и термодинамика

[Главная страница](#)
[Тема 01](#)
[Тема 02](#)
[Тема 03](#)
[Тема 04](#)
[Занятие 01](#)
[Занятие 02](#)
[Занятие 03](#)
[Библиотека](#)
[Новости](#)

[Главная страница](#)
[Библиотека](#)
[Введение](#)
[Глоссарий](#)
[Журнал](#)
[Индикаторы](#)
[Компетенции](#)
[Методические указания](#)
[Модули](#)
[Новости](#)
[Образовательные результаты](#)
[Обратная связь](#)
[Оценочные средства](#)
ОС-8
[Практические занятия](#)
[Рейтинг](#)

Вопросы к экзамену

1. Понятие о физике молекулярных систем. Динамические и статистические закономерности в физике. Необходимость статистического описания системы многих частиц. Термодинамические и статистические методы.
2. Макроскопические и микроскопические состояния системы и соотношения между ними.
3. Термодинамические параметры. Термодинамические процессы. Равновесные и неравновесные процессы.
4. Эмпирические закономерности для идеального газа. Уравнение состояния для идеального газа.
5. Элементы статистической теории идеальных газов. Основные представления молекулярно-кинетической теории газов.
6. Межмолекулярные силы. Опытные факты, подтверждающие основные положения молекулярно-кинетической теории.
7. Масса и размеры молекул. Скорости молекул и роль столкновений.
8. Модель идеального газа. Средние величины в описании молекулярных систем. Элементы теории вероятности. Эргодическая гипотеза. Равномерная плотность идеального газа как наиболее вероятная.
9. Основные характеристики молекулярного движения: средняя скорость, средняя частота столкновений, средняя длина свободного пробега, поперечные газокинетические сечения.
10. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Вывод уравнений Клапейрона - Менделеева и Дальтона.
11. Молекулярно-кинетическое истолкование давления и температуры. Абсолютная шкала температур.
12. Понятие о степенях свободы молекул и теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

Рис. 8. Страница со списком вопросов к экзамену по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Молекулярная физика и термодинамика

[Главная страница](#)
[Тема 01](#)
[Тема 02](#)
[Тема 03](#)
[Тема 04](#)
[Занятие 01](#)
[Занятие 02](#)
[Занятие 03](#)
[Библиотека](#)
[Новости](#)

[Главная страница](#)
[Библиотека](#)
[Введение](#)
[Глоссарий](#)
[Журнал](#)
[Индикаторы](#)
[Компетенции](#)
[Методические указания](#)
[Модули](#)
[Новости](#)
[Образовательные результаты](#)
[Обратная связь](#)
[Оценочные средства](#)
 ОС-8
[Практические занятия](#)
Рейтинг

Формирование балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся

№ п/п	Вид деятельности	Максимальное количество баллов за занятие	Максимальное количество баллов по дисциплине
1	Посещение лекций	1	12
2	Посещение лабораторных занятий	1	20
3	Работа на занятии	12	240
4	Контрольная работа	32	64
5	Экзамен	64	64
Итого			400

	Посещение лекций	Посещение практических занятий	Работа на практических занятиях	Контрольные работы	Экзамен
Разбалловка по видам работ	12 x 1=12 баллов	20 x 1=20 баллов	20 x 12=240 баллов	32 x 2=64 балла	64 балла
Суммарный макс. балл	12 баллов max	32 балла max	284 балла max	348 баллов max	400 баллов max

Рис. 9. Страница с описанием формирования балльно-рейтинговой оценки работы студентов по курсу молекулярной физики и термодинамики в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

занятиях студент может набрать 240 баллов. Программой учебной дисциплины «Молекулярная физика и термодинамика» предусмотрено выполнение двух контрольных работ. За правильное выполнение двух контрольных работ по молекулярной физике и термодинамике студент может набрать 64 балла. Максимальный балл за экзаменационное мероприятие составляет 64 балла.

Молекулярная физика и термодинамика

Поиск по сайту

Главная страница **Тема 01** Тема 02 Тема 03 Тема 04 Занятие 01 Занятие 02 Занятие 03 Библиотека Новости

Главная страница
Библиотека
Введение
Глоссарий
Журнал
Индикаторы
Компетенции
Методические указания
Модули
Тема 01
Тема 02
Тема 03
Тема 04
Тема 05
Тема 06
Тема 07
Тема 08
Тема 09
Тема 10
Тема 11
Тема 12
Новости
Образовательные результаты
Обратная связь
Оценочные средства
ОС-8
Практические занятия
Рейтинг

Тема 1. Молекулярно-кинетический и термодинамический подходы к изучению молекулярных систем
Основные положения молекулярно-кинетической теории и их экспериментальное обоснование. Основное представление молекулярно-кинетической теории. Модель идеального газа. Скорости молекул. Средние величины. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории.

Вещество может находиться в трёх агрегатных состояниях: твёрдом, жидком и газообразном. Молекулярная физика является разделом физики, в котором изучаются физические свойства тел в различных агрегатных состояниях на основе их молекулярного строения.

Молекулярно-кинетической теорией называется теория, объясняющая строение и свойства тел движением и взаимодействием частиц, из которых состоят тела.

В основе молекулярно-кинетической теории лежат следующие основные положения:

- все тела состоят из частиц, разделённых промежутками;
- частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении;
- частицы взаимодействуют между собой.

Атомом называется мельчайшая частица химического элемента. Атом электрически нейтрален. Размеры атома порядка 10^{-10} м. Атомы одного и того же химического элемента одинаковы. Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. В состав атомного ядра входят протоны и нейтроны. Атомы соединяются в молекулы.

Молекула – наименьшая устойчивая частица данного вещества, обладающая его химическими свойствами. Размеры молекул 10^{-10} – 10^{-7} м. Молекулы одного вещества одинаковы. Молекулы электрически нейтральны.

Макроскопическое тело – тело, состоящее из очень большого числа частиц.

Рис. 10. Страница с описанием первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Страница с описанием первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 10. На сайте размещена двенадцать страниц с описаниями тем курса по молекулярной физике и термодинамике.

Страница с описанием первого задания из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Site изображена на рис. 11. В первом задании студентам предложена для изучения презентация по уравнению состояния идеального газа.

Страница с документом для выполнения первого задания из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 12. Документ для выполнения первого задания из первой темы создан на общем дисковом пространстве Google диска. В документе студенты должны описать результаты коллективного обсуждения и комментирования предложенной в задании презентации по уравнению состояния идеального газа.

Страница с описанием второго и третьего заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 13. Второе и третье задания из первой темы по молекулярной физике и термодинамике представляют собой коллективные решения задач по первой теме.

Страница с описанием четвертого и пятого заданий из первой темы в составе образо-

Задание 1. Изучите теоретический материал учебника, сопоставьте с материалом презентации и дополните материал в документе, расположенном ниже презентации.

Уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона
 Универсальный газовый закон
 Закон Бойля-Мариотта
 Закон Гей-Люссака
 Закон Шарля
 Изобара, изотерма, изохора
 Адиабатический процесс и работа газа
 Связь температуры и энергии частицы газа

Рис. 11. Страница с описанием первого задания из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Документ для коллективного обсуждения презентации

Задание 1. Коллективное обсуждение, дополнение и комментирование презентации.
 Обсуждения и дополнения пишем здесь.

[Открыть m01com01](#)

Рис. 12. Страница с документом для выполнения первого задания из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Задание 2. Коллективное решение задачи

1. Плотность некоторого газа $\rho = 0,082 \text{ кг/м}^3$ при давлении $p = 100 \text{ кПа}$ и температуре $t = 1^\circ\text{C}$. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул газа. Какова молярная масса и этого газа?

Решение.

Решения пишем здесь.

[Открыть m01task01](#)

Задание 3. Коллективное решение задачи

2. Под каким давлением находится углекислый газ в баллоне огнетушителя емкостью 2 дм^3 , если баллон имел массу $4,2 \text{ кг}$, а после заполнения $5,6 \text{ кг}$? Температура баллона 3°C . Масса моля углекислого газа 44 г .

Решение.

[Открыть m01task02](#)

Рис. 13. Страница с описанием второго и третьего заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

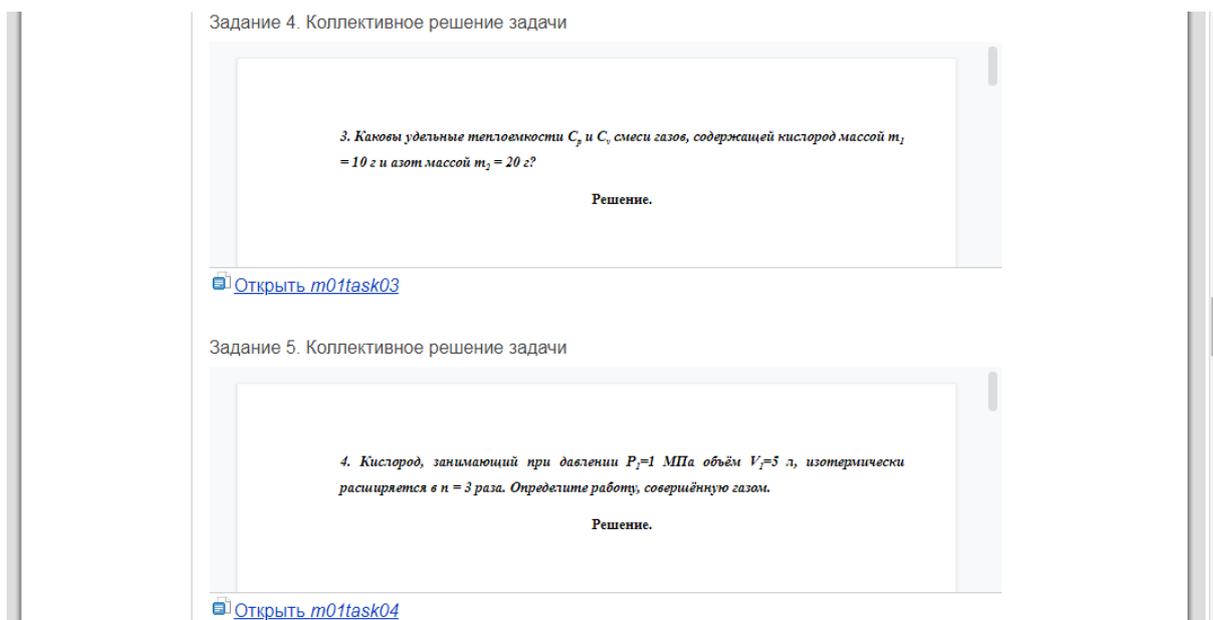


Рис. 14. Страница с описанием четвертого и пятого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

вательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 14. Четвертое и пятое задания из первой темы по молекулярной физике и термодинамике представляют собой коллективные решения задач по первой теме.

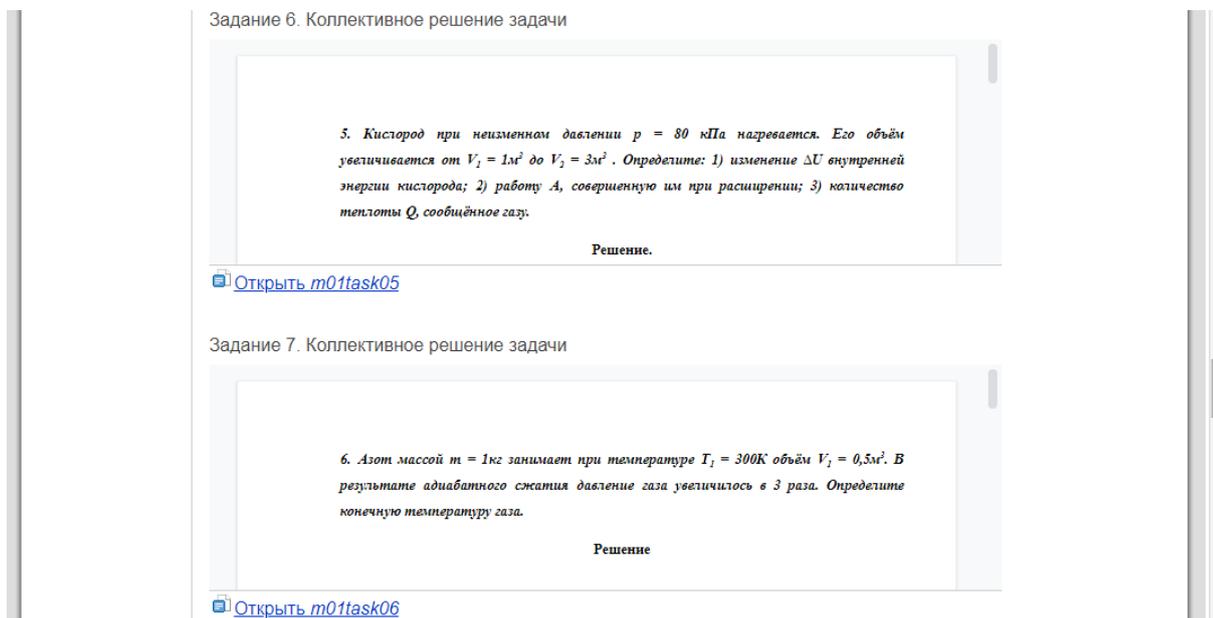


Рис. 15. Страница с описанием шестого и седьмого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Страница с описанием шестого и седьмого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 15. Шестое и седьмое задания из первой темы по молекулярной физике и термодинамике представляют собой коллективные решения задач по первой теме.

Страница с описанием восьмого и девятого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 16. Восьмое и девятое задания из первой темы по молекулярной физике и тер-

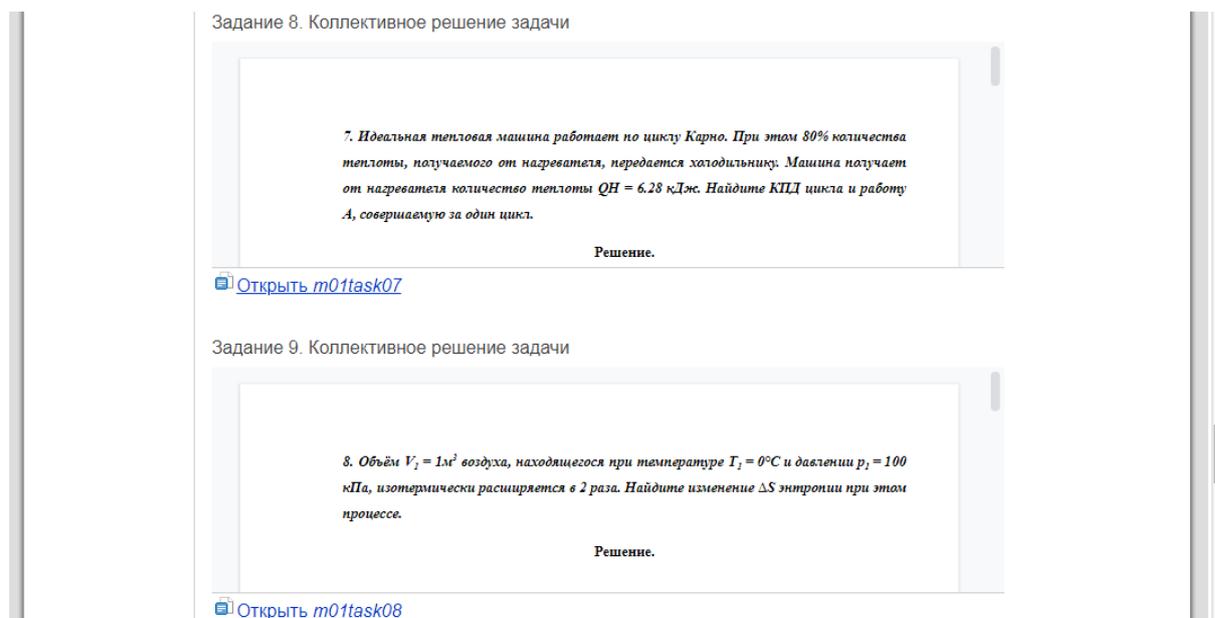


Рис. 16. Страница с описанием восьмого и девятого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

термодинамике представляют собой коллективные решения задач по первой теме.

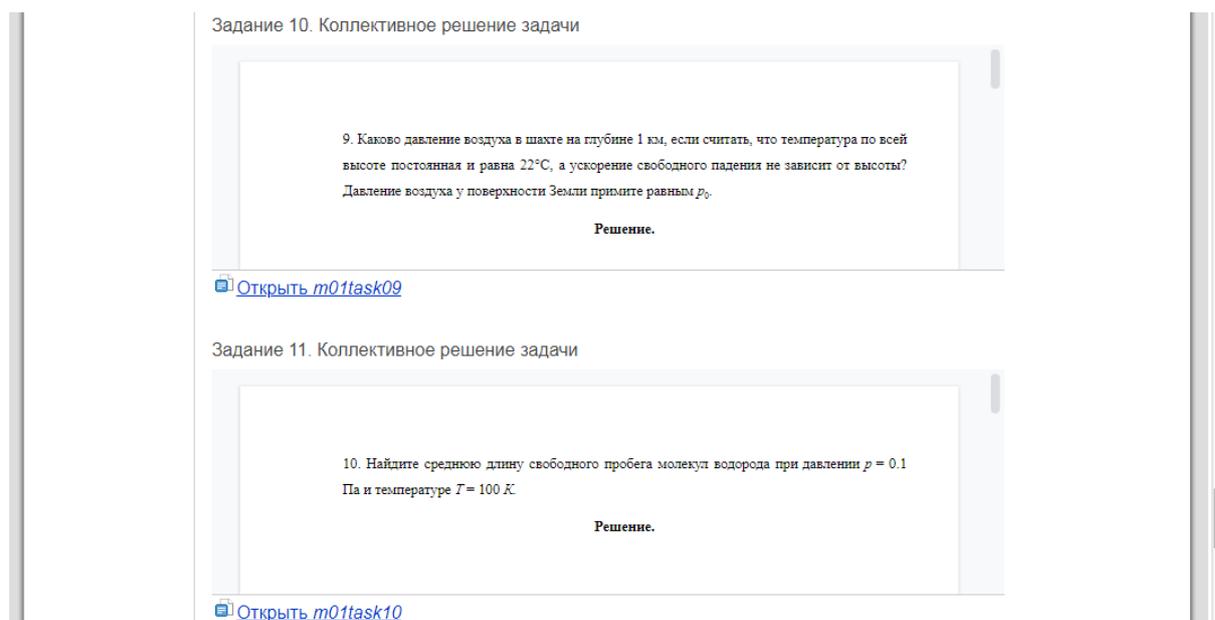


Рис. 17. Страница с описанием десятого и одиннадцатого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

Страница с описанием десятого и одиннадцатого заданий из первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 17. Десятое и одиннадцатое задания из первой темы по молекулярной физике и термодинамике представляют собой коллективные решения задач по первой теме.

Страница с презентацией для проведения рефлексии изучения первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites изображена на рис. 18. Материалы сайта по молекулярной физике и термодинамике,

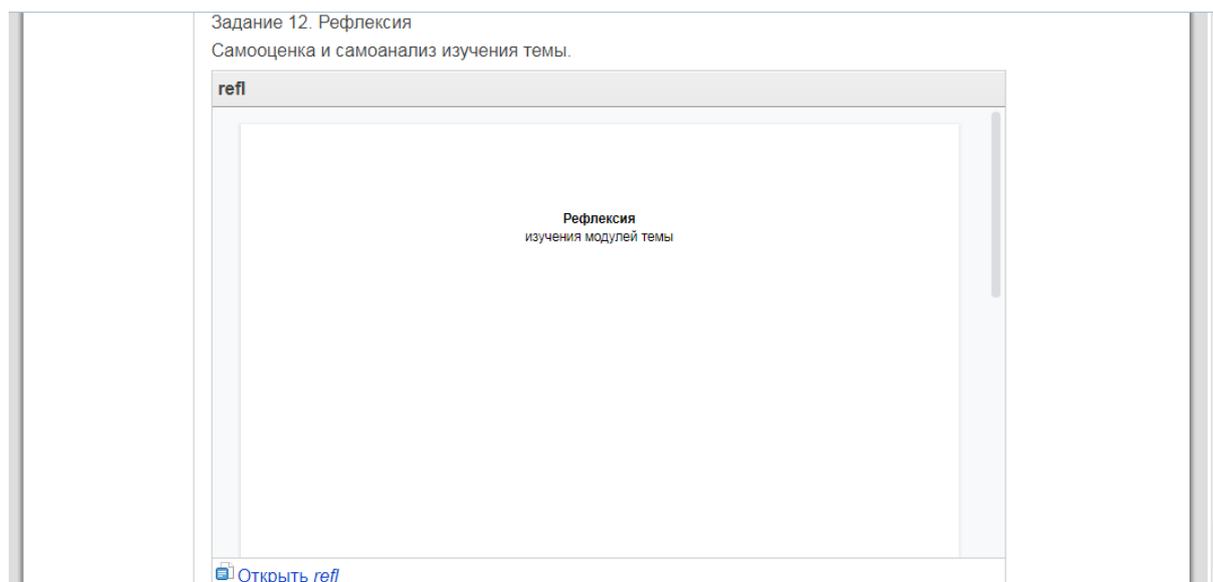


Рис. 18. Страница с презентацией для проведения рефлексии изучения первой темы в составе образовательного сайта по молекулярной физике и термодинамике в Google Sites.

созданного при помощи инструментария Google Sites, могут быть использованы в процессе смешанного обучения по курсу молекулярной физики и термодинамики.

Результаты наблюдения за образовательным процессом по молекулярной физике и термодинамике в педагогическом университете

Проанализируем данные по успеваемости студентов второго курса педагогического университета по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика». Учебная дисциплина «Молекулярная физика и термодинамика» является вторым разделом модульной дисциплины «Общая и экспериментальная физика».

В группе ФМ-18 учебная дисциплина «Молекулярная физика и термодинамика» читалась в 2019-2020 учебном году. Экзамен по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» в группе ФМ-18 проходил 2 июля 2020 года. Группа ФМ-18 состоит из 22 студентов. На экзамене по молекулярной физике и термодинамике оценку «отлично» получили 12 студентов, оценку «хорошо» получили 8 студентов, оценку «удовлетворительно» получили 0 студентов, оценку «неудовлетворительно» получили 0 студентов, не явились на экзамен и были не аттестованы 2 студента. Успеваемость по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-18 составляет 90.91 %. Качество знаний по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-18 составляет 90.91 %. Степень обученности по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-18 составляет 78.45 %. Степень обученности по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-18 находится на оптимальном уровне. Средний балл студентов группы ФМ-18 по дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» составляет 4.18.

В группе ФМ-17 учебная дисциплина «Молекулярная физика и термодинамика» читалась в 2018-2019 учебном году. Экзамен по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» в группе ФМ-17 проходил 5 июля 2019 года. Группа ФМ-17 состоит из 28 студентов. На экзамене по молекулярной физике и термодинамике оценку «отлично» получили 3 студента, оценку «хорошо» получили 12 студентов, оценку «удовлетворительно» получили 10 студентов, оценку «неудовлетворительно» получили

1 студент, не явились на экзамен и были не аттестованы 2 студента. Успеваемость по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-17 составляет 89.29 %. Качество знаний по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-17 составляет 53.57 %. Степень обученности по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-17 составляет 52.07 %. Степень обученности по молекулярной физике и термодинамике студентов группы ФМ-17 находится на допустимом уровне. Средний балл студентов группы ФМ-18 по дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» составляет 3.39.

По результатам наблюдения за образовательным процессом по молекулярной физике и термодинамике в педагогическом университете и анализа успеваемости по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика» в периоды традиционного и смешанного обучения можно сделать вывод о том, что использование смешанных форм обучения молекулярной физике и термодинамике оказывается допустимым и не сказывается на снижении успеваемости студентов по учебной дисциплине «Молекулярная физика и термодинамика».

Заключение

Если использовать смешанную технологию обучения молекулярной физике и термодинамике с применением электронного образовательного ресурса в виде сайта, созданного при помощи инструментария Google Sites, то увеличится наглядность представления материалов курса по молекулярной физике и термодинамике, что повысит у студентов заинтересованность в изучении молекулярной физики и термодинамики.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать смешанную технологию обучения молекулярной физике и термодинамике с применением электронного образовательного ресурса в виде сайта, созданного при помощи инструментария Google Sites, то увеличится наглядность представления материалов курса по молекулярной физике и термодинамике, что повысит у студентов заинтересованность в изучении молекулярной физики и термодинамики, подтверждена полностью.

Показано, что разработанные теоретические материалы сайта по молекулярной физике и термодинамике, созданного при помощи инструментария Google Sites, могут быть использованы в процессе практической реализации технологии смешанного обучения по курсу молекулярной физики и термодинамики в университете.

Список использованных источников

1. Трофимова С. Ю. Логика построения курса общей физики в педагогическом вузе // Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. — 2002. — Т. 2, № 3. — С. 147–158.
2. Грищенко В. В., Купо А. Н., Сидоренко А. А. Интерактивные образовательные технологии в курсе «Молекулярная физика» // Информационные технологии и средства обучения. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 12–12.
3. Моделирование эксперимента в электронном образовательном ресурсе удалённого доступа «Термодинамика и молекулярная физика» / С. Д. Федорович [и др.] // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. — 2017. — Т. 2. — С. 572–575.
4. Развитие автоматизированной лаборатории механики и молекулярной физики с удалённым доступом / С. Д. Федорович [и др.] // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. — 2017. — Т. 1. — С. 243–246.

5. Варава А. Н., Федорович С. Д., Щербаков П. П. Опыт проведения занятий в учебной лаборатории термодинамики и молекулярной физики // В сборнике: Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество. Материалы VIII Всероссийской научно-методической конференции. Казань, 18 мая 2018 года. В 3-х томах. — Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2018. — С. 156–163.
6. Васильева Е. С., Романов В. Н. Электронные ресурсы как средство обучения в современном образовательном процессе // Гуманитарный вестник Военной академии ракетных войск стратегического назначения. — 2017. — № 4 (8). — С. 8–13.
7. Антонова Д. А., Ильин И. В., Оспенникова Е. В. Продуктивное обучение как технология развития самостоятельности будущих учителей в проектировании и разработке электронных дидактических материалов по физике // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. — 2013. — № 9. — С. 4–27.
8. Прояненко Л. А. Организация методической подготовки будущего учителя физики на основе компетентностного и деятельного подходов // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. — 2009. — № 4. — С. 11–17.
9. Гольшева Е. А. Особенности преподавания молекулярной физики в вузе студентам физических специальностей // В сборнике: Актуальные проблемы обучения математике, информатике, экономике и естественнонаучным дисциплинам в средней и высшей школе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией Н. В. Ермак. Благовещенск, 25 марта 2019 года. — Благовещенск : Благовещенский государственный педагогический университет, 2019. — С. 25–28.
10. Коломин В. И. Система обеспечения фундаментальных знаний по общему курсу физики // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. — 2006. — № 9 (22). — С. 139–144.
11. Опыт компьютерного сопровождения преподавания курса физики на технических факультетах университета // В сборнике: Университетское образование в полиэтнических регионах Поволжья: к 50-летию Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова (VI Арсентьевские чтения). Чебоксары, 15–16 октября 2015 года / Б. К. Лаптенков [и др.]. — Чебоксары : Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества Интерактив плюс», 2015. — С. 140–148.
12. Алтунин К. К., Кандрашкина М. С. Разработка электронного образовательного ресурса по механике и термодинамике в TurboSite // Наука online. — 2018. — № 3 (4). — С. 94–114.

Сведения об авторах:

Елизавета Евгеньевна Волкова — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: liza_volkova1999@mail.ru

ORCID iD  0000-0003-2849-7090

Web of Science ResearcherID  AAZ-9027-2020

Development of an electronic educational resource in the form of a website on molecular physics and thermodynamics

E. E. Volkova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted October 5, 2020

Resubmitted November 23, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The main results of the development of an electronic educational resource in the form of a website on molecular physics and thermodynamics are presented. The results of the development of a modular structure of an electronic educational resource, theoretical and controlling materials for an academic discipline in molecular physics and thermodynamics are described. The data on the progress of second-year students of the Pedagogical University in the academic discipline “Molecular Physics and Thermodynamics” when teaching using traditional and mixed technologies of teaching molecular physics and thermodynamics is analyzed. It is shown that if you use a mixed technology of teaching molecular physics and thermodynamics using an electronic educational resource in the form of a website created using the Google Sites toolkit, then the visibility of the presentation of the course materials on molecular physics and thermodynamics will increase, which will increase students’ interest in studying molecular physics and thermodynamics.

Keywords: molecular physics, thermodynamics, electronic educational resource, website, information technologies of teaching, blended technology of teaching physics

PACS: 01.50.H

References

1. Trofimova S. Yu. The logic of building a general physics course at a pedagogical university // Bulletin of the Herzen Russian State Pedagogical University. — 2002. — Vol. 2, no. 3. — P. 147–158.
2. Grishchenko V. V., Coupeau A. N., Sidorenko A. A. Interactive educational technologies in the course “Molecular Physics” // Information technology and training tools. — 2010. — Vol. 19, no. 5. — P. 12–12.
3. Simulation of an experiment in the electronic educational resource of remote access “Thermodynamics and Molecular Physics” / S. D. Fedorovich [et al.] // International Conference on Soft Computing and Measurements. — 2017. — Vol. 2. — P. 572–575.
4. Development of an automated laboratory of mechanics and molecular physics with remote access / S. D. Fedorovich [et al.] // Planning and provision of training for the industrial and economic complex of the region. — 2017. — Vol. 1. — P. 243–246.
5. Varava A. N., Fedorovich S. D., Shcherbakov P. P. Experience of conducting classes in the educational laboratory of thermodynamics and molecular physics // In the proceedings: Actual issues of engineering education: content, technology, quality. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Methodological Conference. Kazan, May 18, 2018. In 3 volumes. — Kazan : Kazan State Power Engineering University, 2018. — P. 156–163.

6. Vasilieva E. S., Romanov V. N. Electronic resources as a means of teaching in the modern educational process // Humanitarian bulletin of the Military Academy of Strategic Missile Forces. — 2017. — no. 4 (8). — P. 8–13.
7. Antonova D. A., Ilyin I. V., Ospennikova E. V. Productive learning as a technology for developing the independence of future teachers in the design and development of electronic didactic materials in physics // Bulletin of the Perm State Humanitarian Pedagogical University. Series: Information Computer Technologies in Education. — 2013. — no. 9. — P. 4–27.
8. Proyanenkova L. A. Organization of methodological training of a future physics teacher based on competence-based and active approaches // Bulletin of Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky. — 2009. — no. 4. — P. 11–17.
9. Golysheva E. A. Features of teaching molecular physics at the university to students of physical specialties // In the proceedings: Actual problems of teaching mathematics, computer science, economics and natural sciences in secondary and higher schools. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Under the general editorship of N.V. Ermak. Blagoveshchensk, March 25, 2019. — Blagoveshchensk : Annunciation State Pedagogical University, 2019. — P. 25–28.
10. Kolomin B. I. System for providing fundamental knowledge in the general course of physics // South-Russian Bulletin of Geology, Geography and Global Energy. — 2006. — no. 9 (22). — P. 139–144.
11. Experience of computer support for teaching physics course at the technical faculties of the university // In the proceedings: University education in the polyethnic regions of the Volga region: to the 50th anniversary of the Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (VI Arsentiev Readings). Cheboksary, October 15-16, 2015 / B. K. Laptentkov [et al.]. — Cheboksary : Limited Liability Company Center for Scientific Cooperation Interactive Plus, 2015. — P. 140–148.
12. Altunin K. K., Kandrashkina M. S. Development of an electronic educational resource on mechanics and thermodynamics in TurboSite // Science online. — 2018. — no. 3 (4). — P. 94–114.

Information about authors:

Elizaveta Evgenievna Volkova – student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: liza_volkova1999@mail.ru

ORCID iD  0000-0003-2849-7090

Web of Science ResearcherID  AAZ-9027-2020

УДК 53.02
ББК 22.3
ГРНТИ 29.01.45
ВАК 01.04.01

Разработка элементов онлайн-курса по физике для девярых классов общеобразовательной школы

А. А. Карташова  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071,
Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 28 ноября 2020 года

После переработки 2 декабря 2020 года

Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассмотрен процесс создания онлайн-курса по физике для девярых классов общеобразовательной школы при помощи инструментария Google Classroom. Приведено описание некоторых элементов онлайн-курса по физике в рамках темы по законам механики для девярых классов общеобразовательной школы. Элементы онлайн-курса по физике в рамках темы по законам механики включают материалы с теоретическими сведениями по разделам физики девярого класса общеобразовательной школы и материалы для контроля знаний в виде задач, контрольных вопросов и контрольных работ. Для элементов контроля знаний в виде задач, контрольных вопросов и контрольных работ можно устанавливать сроки сдачи работ в соответствии с тематическим планированием курса физики для девярого класса общеобразовательной школы. С помощью онлайн-курса по физике в девярых классах общеобразовательной школы можно реализовать процесс обеспечения непрерывной информационной поддержки изучения физики в девярых классах общеобразовательной школы.

Ключевые слова: физика, законы механики, законы Ньютона, дистанционный курс, онлайн-курс, смешанная технология обучения, общеобразовательная школа

Введение

В настоящее время широкое применение получили различные информационные и компьютерные системы дистанционного обучения, которые применяются в современном образовательном процессе при использовании технологии смешанного обучения физике. Наличие даже некоторых элементов смешанного обучения позволяет легче контролировать процесс изучения физики и автоматизировать некоторые этапы проверки выполнения заданий по физике.

В настоящей работе рассматриваются теоретические и методические проблемы разработки онлайн-курса по физике в девярых классах общеобразовательной школы.

Актуальность разработки онлайн-курса по физике в девярых классах общеобразовательной школы заключается в необходимости обеспечения непрерывной информационной поддержки изучения физики в девярых классах общеобразовательной школы.

¹E-mail: alesya_alekseevna@inbox.ru

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании, разработке, совершенствовании и реализации онлайн-курса по физике для девярых классов общеобразовательной школы.

Задачи исследования:

1. написать обзор литературы по онлайн-курсам и электронным образовательным ресурсам по физике,
2. разработать структуру и элементы онлайн-курса по физике для девярых классов в общеобразовательной школе для использования при обучении по смешанной технологии обучения физике.

Объектом исследования является процесс разработки онлайн-курса по физике для девярых классов в общеобразовательной школе.

Предметом исследования являются теоретические и контролирующие материалы онлайн-курса по физике для девярых классов в общеобразовательной школе.

Гипотеза исследования представляет собой предположение о том, что если разработать онлайн-курс по физике для девярых классов в общеобразовательной школе, основанный на дидактически обработанной связи элементов курса, позволяющей организовать процесс творческого применения учащимися знаний по физике, то можно реализовать сбалансированную систему подготовки с использованием технологии смешанного обучения физике в девярых классах в общеобразовательной школы.

Практическая значимость разработки онлайн-курса по физике в девярых классах общеобразовательной школы заключается в возможности непрерывно функционирующей системы информационной поддержки изучения и контроля знаний по курсу физики в девярых классах общеобразовательной школы.

В качестве **методов научного исследования** используются анализ научной и психолого-педагогической литературы по теме исследования, синтез теоретических и контролирующих материалов по физике для девярых классов общеобразовательной школы, описание результатов разработки структуры и элементов онлайн-курса по физике для девярых классов в общеобразовательной школе.

Методологическую основу исследования составили исследовательский, проектирующий, аналоговый, аддитивный, системный, ситуационный, информационный подходы, на основе которых были проведены анализ предмета данного исследования и синтез подготовки по физике с использованием онлайн-курса в общеобразовательной школе.

Научная новизна исследования:

1. Обоснована необходимость создания онлайн-курса по физике для девярых классов в общеобразовательной школе, позволяющий оптимально сочетать учебно-деятельностные, компетентностные и знаниевые компоненты изучения физики.
2. На методологическом и организационно-процессуальном уровнях предложено новое решение проблемы повышения эффективности системы подготовки по физике в общеобразовательной школе и эффективного обучения физике.
3. Разработан онлайн-курс по физике для девярых классов в общеобразовательной школе, базирующийся на системно-деятельностном подходе изучения физики. Основные элементы онлайн-курса по физике для девярых классов в общеобразовательной школе направлены на создание и реализацию условий, способствующих формированию у обучаемых творческого подхода к изучению физики, качественного освоения теоретической информации по физике, её критического анализа, поиска нестандартных подходов к решению сложных физических задач.

Проводилась качественная апробация избранных элементов онлайн-курса по физике для девярых классов в МБОУ СШ № 48 имени Героя России Д. С. Кожемякина, находящейся по адресу город Ульяновск, улица Амурская, 10.

Обзор научных работ по электронным образовательным ресурсам по физике

В [1] рассмотрены возможности организации самостоятельной работы студентов с использованием модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды MOODLE как в рамках отдельных дисциплин, так и в междисциплинарном аспекте. В [1] предложен информационно-проектный метод обучения, реализуемый в модульной объектно-ориентированной динамической учебной среде MOODLE, позволяющий обеспечить междисциплинарное взаимодействие и профессиональную направленность при организации самостоятельной работы студентов. В работе [2] обоснована актуальность проблемы овладения студентами методами самостоятельной познавательной деятельности по физике средствами современных информационных технологий, в частности, на базе модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды MOODLE.

В статье [3] описан результат разработки электронного образовательного ресурса в университете при помощи инструментария Google Site и модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды MOODLE, а также проведено сравнение возможностей платформы Google Site и системы управления обучением MOODLE для создания онлайн-курсов по физике.

В статье [4] проведено исследование информационных образовательных сред и электронных образовательных ресурсов по физике на примере темы по изучению явления фотоэффекта, созданных с использованием инструментов Google Sites.

В статье [5] описана разработка и внедрение электронного курса по нанооптике, предназначенного для студентов педагогического университета физико-математического профиля подготовки. Рассматриваемый в этой работе электронный курс по нанооптике имеет структуру сайта, созданного с использованием инструментов Google Sites.

В работе [6] обобщён практический опыт создания и использования в обучении физике электронных дидактических разработок с возможностью реализации дифференцированного подхода по модулю, связанного с изучением волновой оптики. Структура модуля из ядра и оболочки позволяет варьировать степень насыщения содержания информацией и уровень сложности учебного материала.

Проведённый анализ особенностей использования онлайн-курсов и электронных образовательных ресурсов по физике показал актуальность создания онлайн-курса для девятого класса общеобразовательной школы.

Результаты разработки онлайн-курса по физике

Разработан онлайн-курс по физике, предназначенный для учащихся девятого классов общеобразовательной школы. В рамках программы по физике для девятого класса общеобразовательной школы изучаются тепловые, электромагнитные и световые явления. Согласно рабочей программе курса физики для девятого класса общеобразовательной школы изучаются законы механики в объёме 31 час, механические колебания и волны в объёме 8 часов, электромагнитные колебания и волны в объёме 20 часов, элементы квантовой физики в объёме 16 часов, состав и строение Вселенной в объёме 12 часов. В соответствии с темами курса физики для девятого класса общеобразовательной школы были спроектированы тематические модули онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы.

На рис. 1 представлено изображение главной страницы онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы. Главная страница онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы содержит основное название онлайн-курса, подзаголовки курса, код доступа к курсу, перечень предстоящих событий курса и ленту курса.

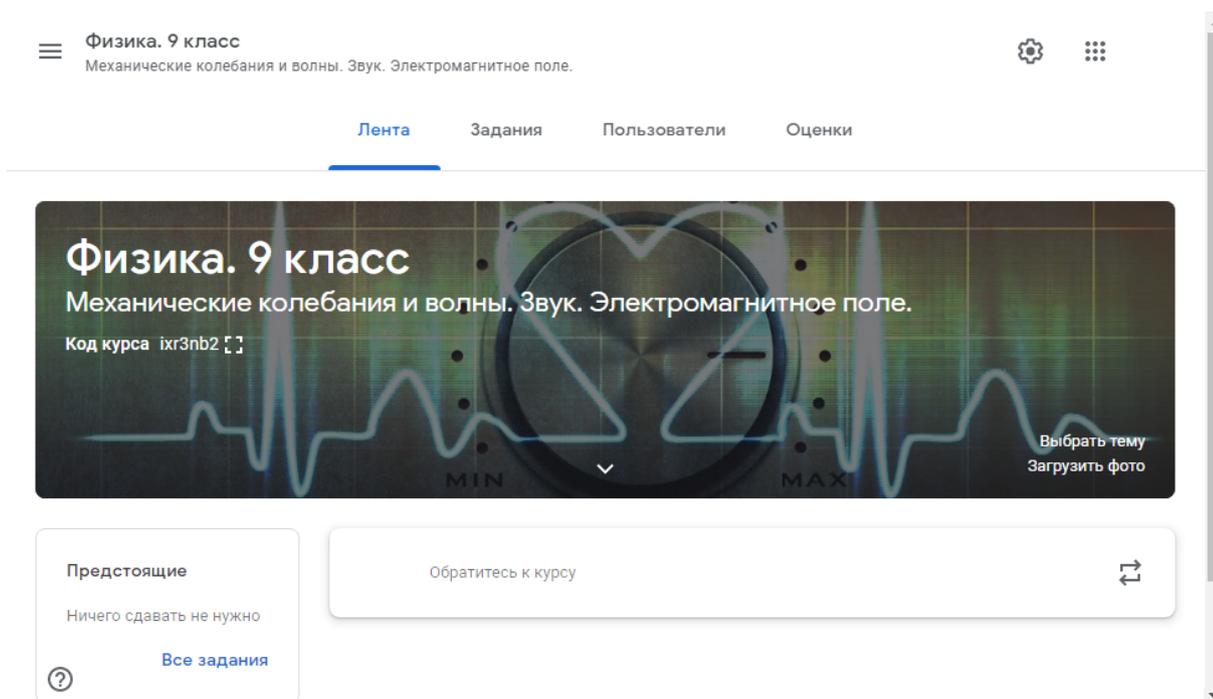


Рис. 1. Главная страница онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы, созданного при помощи инструментария Google Classroom.

Зная код доступа к онлайн-курсу школьники могут сами записаться на курс. Перечень предстоящих событий онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы выводит перечень вопросов и заданий по физике, подлежащих исполнению учащимися девятого класса.

На рис. 2 изображена часть перечня тем в курсе физики для девятого класса общеобразовательной школы, созданного при помощи инструментария Google Classroom. Часть тем в курсе физики для девятого класса общеобразовательной школы включает законы взаимодействия и движения тел, механические колебания и волны, электромагнитное поле, строения атома и атомного ядра.

На рис. 3 изображена часть перечня списка пользователей и учащихся онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы, созданного при помощи инструментария Google Classroom. Учащиеся могут самостоятельно записываться на онлайн-курс в Google Classroom по коду курса, который сообщает учитель физики.

Результатом разработки информационной поддержки системы изучения физики в девятых классах общеобразовательной школы стало создание Google-класса по физике для девятых классов общеобразовательной школы. На рис. 4 изображена входная страница Google-класса по физике для девятых классов общеобразовательной школы.

На рис. 5 изображены некоторые элементы по теме “Законы механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса в Google Classroom. В качестве элементов темы “Законы механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы в Google Classroom используются материалы с теоретическими сведениями по теме “Законы механики”, задачи и контрольные вопросы по законам Ньютона.

Google-класс по физике для девятого класса общеобразовательной школы содержит теоретические материалы, контрольные вопросы, задания и задачи по изучаемым темам. На рис. 6 изображён вопрос 2 на второй закон Ньютона как элемент темы “Законы механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы в Google Classroom.

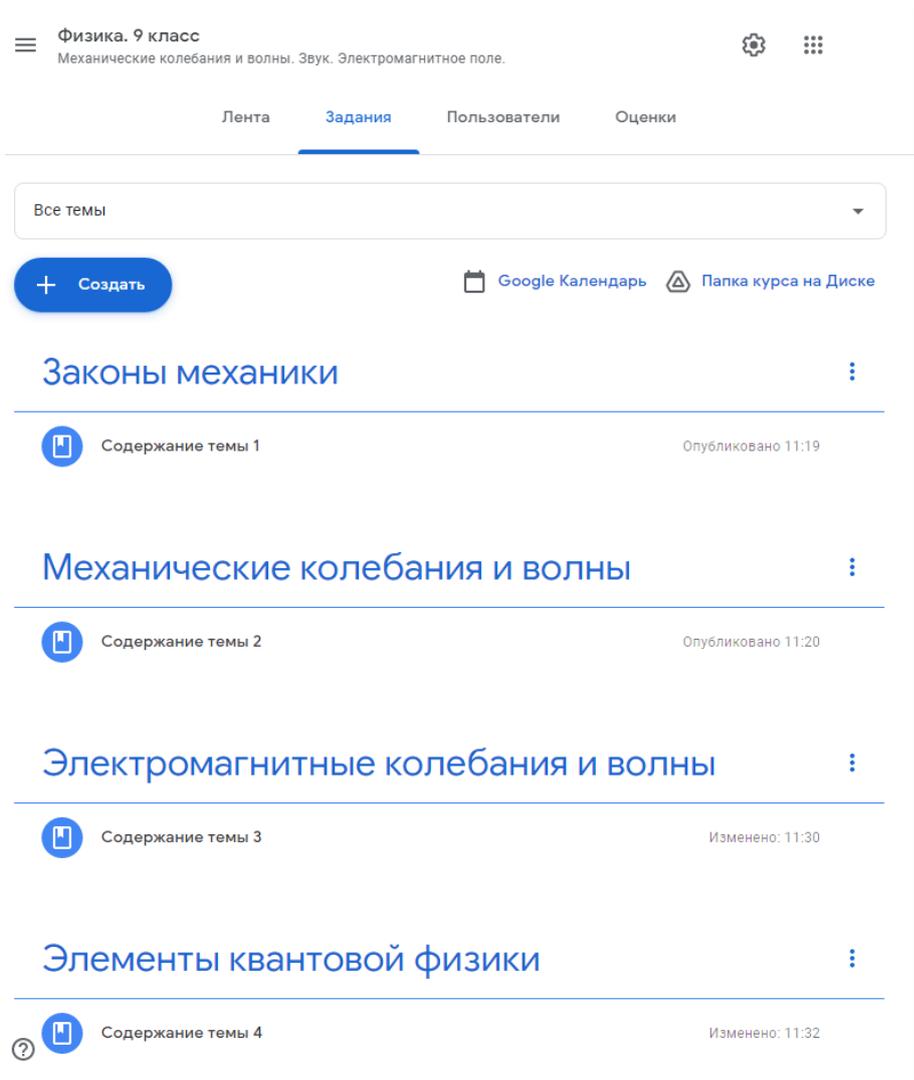


Рис. 2. Часть перечня тем в курсе физики для девятого класса общеобразовательной школы, созданного при помощи инструментария Google Classroom.

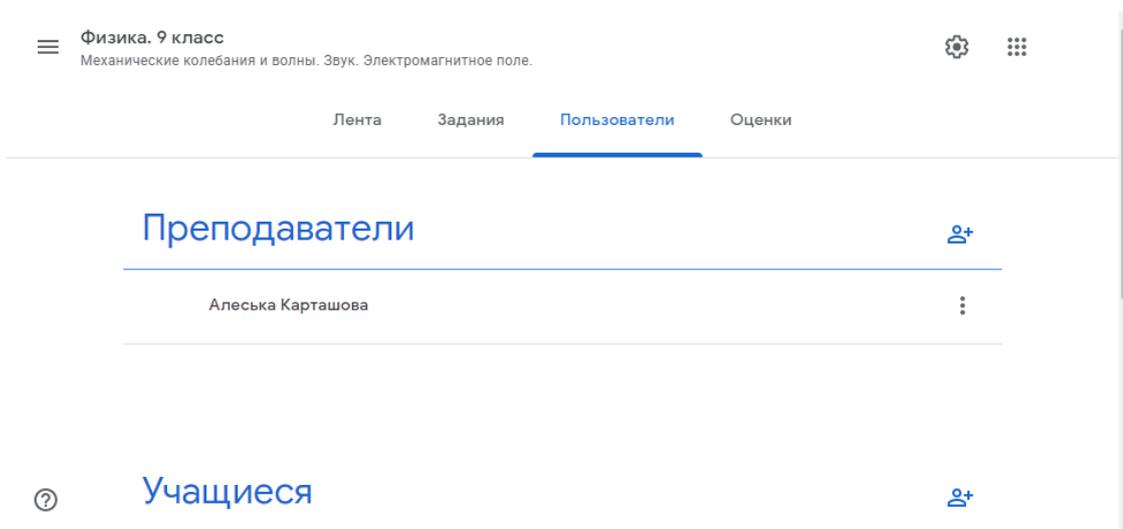


Рис. 3. Перечни списков пользователей и учащихся курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы, созданного при помощи инструментария Google Classroom.

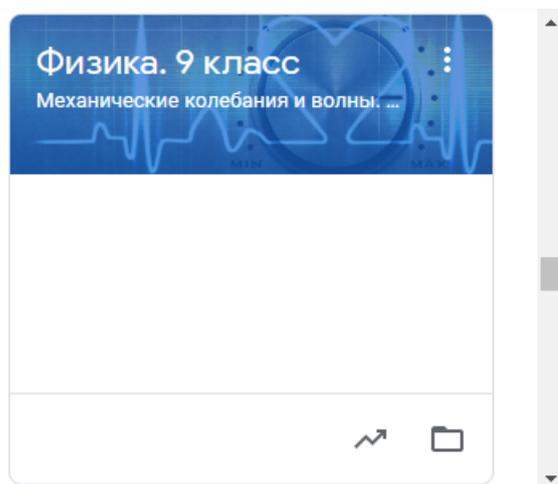


Рис. 4. Входная страница Google-класса по физике для девятых классов общеобразовательной школы.

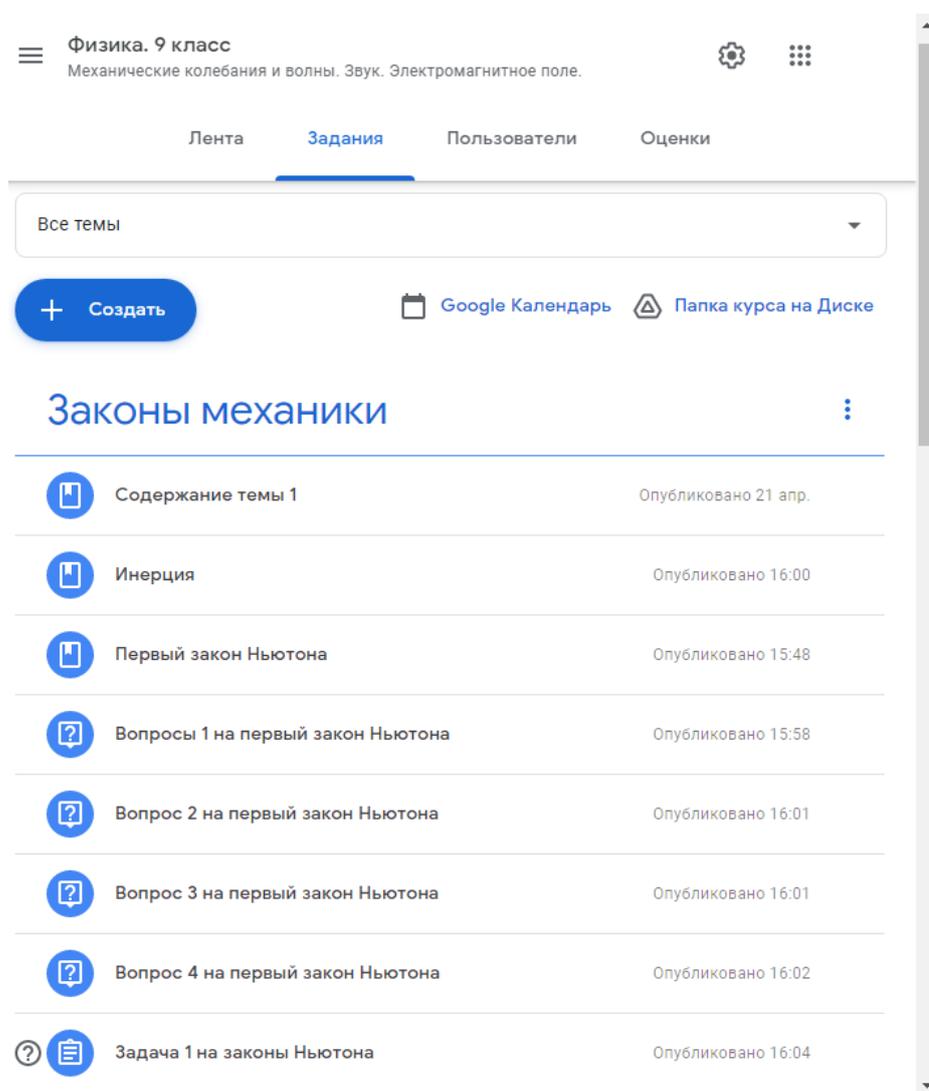


Рис. 5. Элементы темы “Законь механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы в Google Classroom.

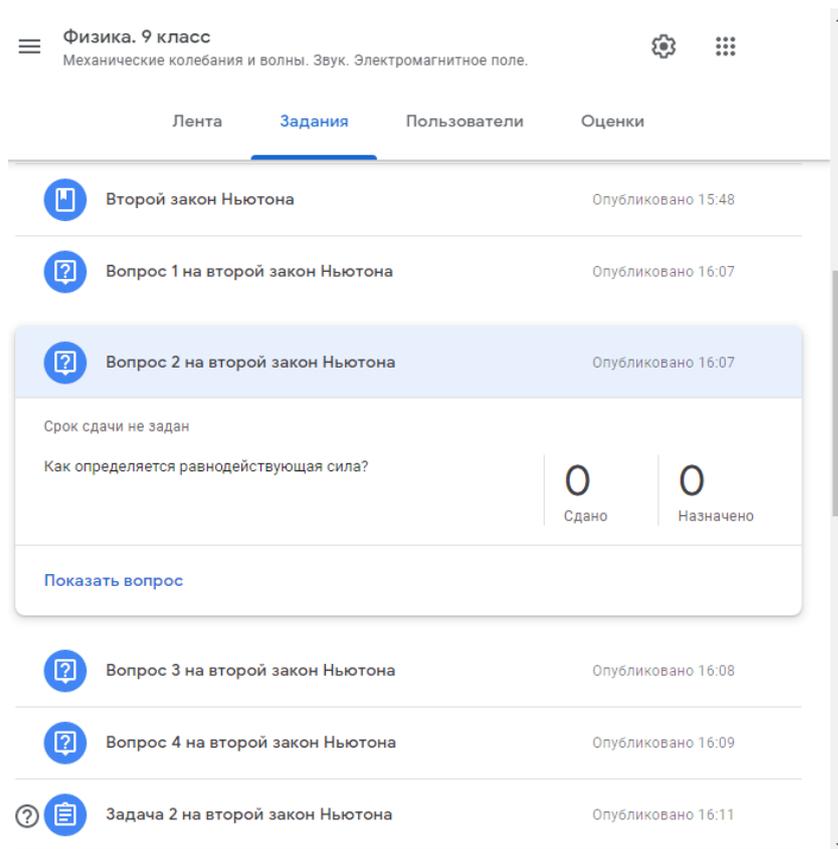


Рис. 6. Вопрос 2 на второй закон Ньютона как элемент темы “Законы механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы в Google Classroom.

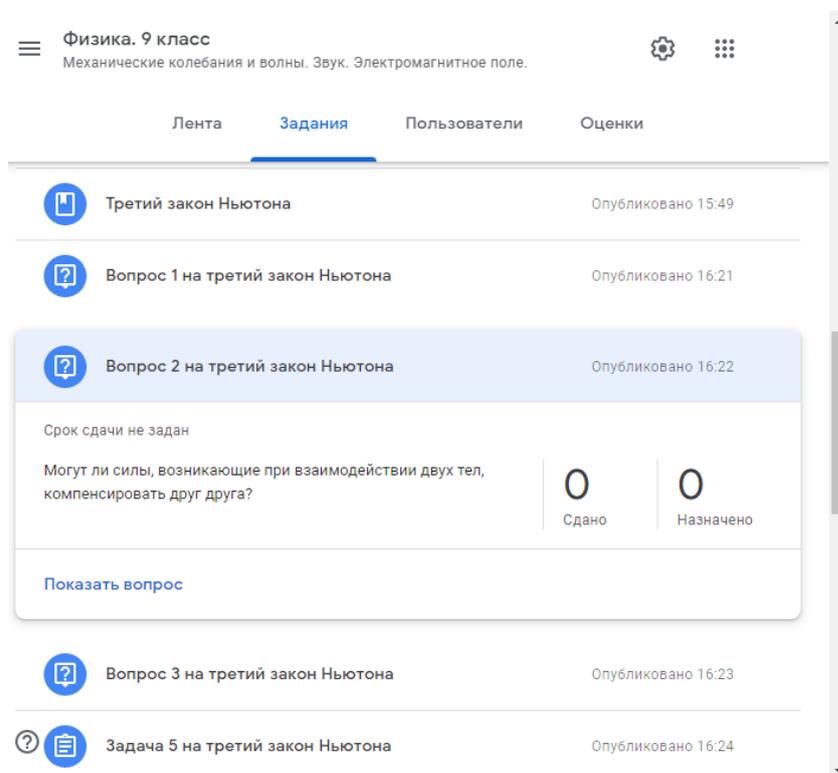


Рис. 7. Вопрос 2 на третий закон Ньютона как элемент темы “Законы механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы в Google Classroom.

На рис. 7 изображён вопрос 2 на третий закон Ньютона как элемент темы “Законы механики” в составе онлайн-курса по физике для девятого класса общеобразовательной школы в Google Classroom.

Разработанная информационная система поддержки системы подготовки по физике в девятых классах общеобразовательной школы может эффективно применяться в рамках использования смешанных и дистанционных технологий обучения физике.

Заключение

Онлайн-курсы являются одной из самых ценных составляющих образовательной информационной среды. Именно в онлайн-курсах концентрируется содержательная составляющая учебного процесса и хранятся результаты обучения. Значение онлайн-курсов в учебном процессе существенно больше, чем у обычных бумажных пособий, поскольку новые образовательные технологии предполагают сокращение персональных контактов преподавателя и учащегося с увеличением доли самостоятельной подготовки. Поэтому материалы онлайн-курсов принимают на себя поддержку части тех компонент обучения, которые в стандартном учебном процессе обеспечиваются очным общением учителя и ученика.

В процессе работы создан онлайн-курс по физике для девятого класса общеобразовательной школы, который является частью авторской системы подготовки по физике в девятых классах общеобразовательной школы, реализованной в 2019-2021 годах в МБОУ СШ № 48 имени Героя России Д. С. Кожемякина в городе Ульяновске. Использование инструментов дистанционного обучения в технологии смешанного обучения физике позволяет активизировать визуальный канал восприятия теоретической информации по физике, разнообразить сам учебный материал, автоматизировать контроль учебной деятельности по физике.

Разработанный онлайн-курс по физике может эффективно применяться в системе подготовки по физике в девятых классах общеобразовательной школы в рамках использования смешанной технологии обучения физике. Результат разработки и частичного применения онлайн-курса по физике в 2019-2021 годах показал оптимальность комбинации использования традиционных и компьютерных методов обучения и диагностики учащихся по физике в девятых классах общеобразовательной школы.

Гипотеза исследования, представляющая собой предположение о том, что если разработать онлайн-курс по физике для девятых классов в общеобразовательной школе, основанный на дидактически обработанной связи элементов курса, позволяющей организовать процесс творческого применения учащимися знаний по физике, то можно реализовать сбалансированную систему подготовки с использованием технологии смешанного обучения физике в девятых классах в общеобразовательной школы, подтверждена полностью.

Использование онлайн-курса по физике способствует интенсификации учебного процесса и более осмысленному изучению теоретического материала по физике, приобретению навыков самоорганизации и превращению систематических знаний в системные, помогает развитию поисковой и познавательной деятельности учащихся и интереса к физике.

Достоверность выводов определяется апробацией основных положений исследования в практике преподавания физики в девятых классах общеобразовательной школы.

Онлайн-курс по физике можно рассматривать, как эффективный инструмент для формирования и роста познавательного интереса у учащихся к физике. Поэтому онлайн-курс по физике может стать частью системы подготовки по физике в девятых классах общеобразовательной школы.

Список использованных источников

1. Благодинова В. В., Винник В. К., Толстенева А. А. Модульная объектно-ориентированная учебная среда как средство организации самостоятельной работы студентов // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. — 2013. — № 5-2. — С. 28–32.
2. Благодинова В. В. Организация самостоятельной работы студентов по физике на базе модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды (MOODLE) // Вестник Мининского университета. — 2013. — № 1 (1). — С. 11–11.
3. Алтунин К. К. Разработка электронного образовательного ресурса в университете при помощи инструментов Google Site и MOODLE // Поволжский педагогический поиск. — 2017. — № 3 (21). — С. 116–124.
4. Алтунин К. К., Коннова Т. С. Исследование информационных образовательных сред и электронных учебников на примере темы “Фотоэффект” // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции. — 2016. — С. 11–16.
5. Алтунин К. К. Разработка и внедрение электронного курса по нанооптике // В книге: Актуальные проблемы физической и функциональной электроники материалы 19-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара. — 2016. — С. 128–129.
6. Бубликов С. В., Голубовская М. П. Электронные дидактические разработки к модулю “Волновая оптика” // Учебный эксперимент в образовании. — 2011. — № 2. — С. 16–22.

Сведения об авторах:

Алеся Алексеевна Карташова — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: alesya_alekseevna@inbox.ru

ORCID iD  0000-0002-0093-9013

Web of Science ResearcherID  AAZ-8166-2020

Development of elements of an online physics course for the ninth grade of a comprehensive school

A. A. Kartashova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 28, 2020

Resubmitted December 2, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The process of creating an online physics course for the ninth grades of a general education school using the Google Classroom toolkit is considered. The description of some elements of the online course in physics within the framework of the topic on the laws of mechanics for the ninth grade of a comprehensive school is given. Elements of the online course in physics within the framework of the topic on the laws of mechanics include materials with theoretical information on the sections of physics for the ninth grade of a general education school and materials for controlling knowledge in the form of tasks, test questions and tests. For knowledge control elements in the form of tasks, control questions and tests, you can set deadlines for the delivery of work in accordance with the thematic planning of a physics course for the ninth grade of a comprehensive school. With the help of an online course on physics in the ninth grade of a comprehensive school, it is possible to implement the process of providing continuous information support for the study of physics in the ninth grade of a comprehensive school.

Keywords: physics, laws of mechanics, Newton's laws, distance course, online course, blended learning technology, comprehensive school

PACS: 01.40.E

References

1. Blagodinova B. V., Vinnik V. K., Tolsteneva A. A. Modular object-oriented learning environment as a means of organizing students' independent work // Bulletin of Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky. — 2013. — no. 5-2. — P. 28–32.
2. Blagodinova B. V. Organization of students' independent work in physics based on a modular object-oriented dynamic learning environment (MOODLE) // Bulletin of Minin University. — 2013. — no. 1 (1). — P. 11–11.
3. Altunin K. K. Development of an electronic educational resource at the university using the Google Site and MOODLE tools // Volga region pedagogical search. — 2017. — no. 3 (21). — P. 116–124.
4. Altunin K. K., Konnova T. S. Research of information educational environments and electronic textbooks on the example of the topic “ Photo effect ” // In the collection: Topical issues of teaching technical disciplines Materials of the All-Russian correspondence scientific and practical conference. — 2016. — P. 11–16.
5. Altunin K. K. Development and implementation of an electronic course on nano-optics // In the book: Actual problems of physical and functional electronics materials of the 19th All-Russian youth scientific school-seminar. — 2016. — P. 128–129.

6. Bublikov C. V., Golubovskaya M. P. Electronic didactic development for the module “Wave optics” // Study experiment in education. — 2011. — no. 2. — P. 16–22.

Information about authors:

Alesya Alekseevna Kartashova — Master’s student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: alesya_alekseevna@inbox.ru

ORCID iD  0000-0002-0093-9013

Web of Science ResearcherID  AAZ-8166-2020

УДК 531
ББК 22.3
ГРНТИ 29.01
ВАК 01.04.00

Разработка элементов онлайн-курса по элементарной физике

Я. С. Замлелова ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071,
Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 27 октября 2020 года

После переработки 28 ноября 2020 года

Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Произведено описание разработки элементов онлайн-курса по элементарной физике при помощи инструментария Google Sites и Google Classroom. Онлайн-курс по элементарной физике, созданный при помощи инструментария Google Sites и Google Classroom, можно использовать для информационного обеспечения смешанного обучения студентов при изучении элементарной физики, а также для визуализации процесса обучения элементарной физике. Использование элементов контроля онлайн-курса по элементарной физике позволит систематизировать контроль теоретических знаний по элементарной физике.

Ключевые слова: курс, элементарная физика, кинематика, динамика, онлайн-курс, педагогическое образование, информатизация образования, образовательный процесс университета, методика дистанционного обучения

Введение

В настоящее время в университетах расширяется вариативная часть учебных дисциплин и объём самостоятельной учебной деятельности. Сейчас идёт повсеместное внедрение онлайн-курсов в образовательный процесс университетов. Методика дистанционного обучения базируется на так называемых дистанционных курсах, онлайн-курсах, массовых образовательных онлайн-курсах. В связи с возрастающей информатизацией образования идёт активное внедрение онлайн-курсов во всех предметных областях, включая междисциплинарную область исследований на стыке элементарной физики и техники. Поэтому разработка дистанционного курса «Элементарная физика» представляет практическую значимость для образовательного процесса по элементарной физике. В связи с этим является актуальной задача создания курса «Элементарная физика» с элементами информационной поддержки обучения. Курс «Элементарная физика» читается для студентов первого курса направления подготовки по педагогическому образованию.

Объектом исследования является курс «Элементарная физика».

Предметом исследования являются содержательные и методические аспекты процесса создания онлайн-курса «Элементарная физика».

¹E-mail: zamlelowa1998@mail.ru

Целью исследования является описание методических аспектов процесса создания и применения онлайн-курса «Элементарная физика» с использованием инструментов Google Sites и Google Classroom.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ основных методических особенностей преподавания курса «Элементарная физика» в педагогических университетах для определения требований к онлайн-курсу «Элементарная физика».
2. Создание теоретических материалов по элементарной физике для использования в теоретической части разрабатываемого курса «Элементарная физика».
3. Разработка онлайн-курса «Элементарная физика» при помощи инструментария Google Sites и Google Classroom.

Для решения задачи по созданию теоретических материалов по элементарной физике для использования в теоретической части разрабатываемого курса «Элементарная физика» планируется освоить конструирование web-страниц с использованием инструментов Google Sites, планируется спроектировать тематическую структуру онлайн-курса «Элементарная физика», планируется систематизировать, оцифровать, и структурировать собранный материал по элементарной физике, планируется наполнить содержанием структуру онлайн-курса «Элементарная физика» с использованием инструментов Google Sites, планируется разработать сценарии и практические рекомендации по использованию элементов онлайн-курса «Элементарная физика» в учебном процессе педагогического университета.

Гипотеза исследования: онлайн-курс «Элементарная физика» позволяет организованно хранить теоретические материалы и практические задания по элементарной физике, управлять организацией систематического изучения теоретических материалов по элементарной физике.

Предполагается использовать онлайн-курс «Элементарная физика», созданный при помощи инструментария Google Sites и Google Classroom, чтобы повысить эффективность самостоятельной работы студентов в рамках изучения учебной дисциплины «Элементарная физика», повысить уровень мотивации к обучению элементарной физике, визуализировать процесс обучения элементарной физике. Предполагается, что онлайн-курс «Элементарная физика» позволит успешно реализовать технологию смешанного обучения элементарной физике, сделает процесс изучения элементарной физики более разнообразным. Использование онлайн-курса «Элементарная физика» позволит не только улучшить и закрепить получаемые теоретические знания по элементарной физике, но и увеличить интерес к занятиям по элементарной физике в педагогическом университете. Использование элементов контроля онлайн-курса по элементарной физике позволит систематизировать контроль теоретических знаний по элементарной физике.

Научная новизна работы заключается в сочетании традиционных и дистанционных технологий при изучении элементарной физики в педагогическом университете.

Материалами исследования являются теоретические материалы курса по элементарной физике.

Методами исследования являются методы разработки теоретического материала по элементарной физике, компьютерные методы создания онлайн-курса по элементарной физике при помощи инструментария Google Sites и Google Classroom.

Применение новых онлайн-средств обучения в физике открывает студентам педагогических университетов широкие возможности для организации процесса изучения элементарной физики в режиме удалённого доступа. Это, в свою очередь, позволяет дать обучаемым знание педагогических технологий смешанного обучения физике и за-

кладывает у будущих учителей физики фундамент для инновационных разработок в области педагогического образования физического профиля подготовки.

Обзор

Научно-методические аспекты использования электронных образовательных ресурсов описаны в работе [1].

В работе [2] рассмотрены электронные образовательные ресурсы как средство повышения познавательной активности учащихся на уроке физики.

В статье [3] обсуждаются возможности развития у обучающихся познавательной активности, самостоятельности, инициативы, творческих способностей при помощи авторских методических и образовательных ресурсов.

В работе [4] обоснована необходимость и возможность создания электронного образовательного ресурса по физике на основе концепции П. Я. Гальпера. Актуализированы этапы интериоризации знаний и действий, которые конкретизированы в виде трех вариантов последовательности действий учащихся основной школы по усвоению физических знаний. Эти варианты соответствуют степени трудности для учащегося осваиваемого знания и действия. Предложена блок-схема обучающей программы.

В работе [5] обсуждается электронный образовательный ресурс по физике, предназначенный для студентов младших курсов вузов, изучающих физику, и содержит учебно-методические рекомендации по выполнению практических и лабораторных работ, содержит следующие разделы физики: механика, электричество, молекулярная физика, оптика.

В статье [6] рассмотрен один из педагогических аспектов использования электронных образовательных ресурсов в обучении физики в средней школе, в частности раскрытие физических терминов. Представлена структура и содержание электронных образовательных ресурсов, а также их эффективность при изучении школьного курса физики. Авторы делают вывод о том, что электронные образовательные ресурсы не должны отходить от программы обучения, информация на них должна быть научно обоснована, последовательность представленной информации должна быть в соответствии с современными знаниями о предмете, единая методика должна быть сохранена, тест должен тщательно быть проверен на отсутствие орфографических ошибок. Использование авторского электронного образовательного ресурса позволяет повысить эффективность усвоения основного материала школьного курса физики.

В статье [7] подробно описан разработанный электронный образовательный ресурс для организации внеклассной работы по физике с использованием современных информационных технологий, его функции, задачи, приведены иллюстрации данного электронного образовательного ресурса и спектр мероприятий, где можно его использовать.

В статье [8] рассматриваются некоторые аспекты использования электронных образовательных ресурсов в профессиональной подготовке бакалавров на факультете Физики и информационно-коммуникационных технологий Чеченского государственного университета.

В статье [9] описывается разработанный электронный образовательный ресурс по молекулярной физике, который может быть использован в учебном процессе 10 класса.

В статье [10] обсуждаются проблемы использования электронного образовательного ресурса на уроках физики, выделены проблемы применения электронного образовательного ресурса по физике на различных этапах урока.

В статье [11] рассматриваются разработанные авторами электронный образовательный ресурс по физике, в котором приведены лабораторные работы по использованию программ MMANA-GAL, Tronan Macro Machine для моделирования физических процессов.

В статье [12] описываются основные особенности при работе с электронным образовательным ресурсом при изучении физики и астрономии, и его организация с применением информационно-коммуникационных технологий и веб-технологий в обучении.

В пособии [13] раскрыты теоретические основы использования облачных технологий (вычислений) в процессе высшего и дополнительного профессионального образования. Описаны и охарактеризованы пути реализации облачных технологий в контексте медиаобразования, раскрыты основные виды электронных образовательных продуктов и интерактивные формы работы современного педагога, даны методические рекомендации по обновлению содержания школьных программ с использованием онлайн-среды и цифровой образовательной платформы «ЛЕСТА». Предлагаемая программа «Конструирование и моделирование электронных образовательных продуктов с использованием облачных технологий» включает три учебных модуля, мониторинг оценки качества и эффективности, а также практические примеры электронных образовательных продуктов, созданных с использованием облачных технологий.

В статье [14] рассмотрены особенности разработки электронного образовательного ресурса по физике в TurboSite для классов с углубленным изучением физики. Обсуждаются результаты разработки системы тестовых заданий в рамках электронного образовательного ресурса по механике и термодинамике.

В статье [15] описаны возможности применения современных информационных технологий на уроках физики, проанализирована эффективность внедрения технологий, опирающаяся на опыт использования их в учебном процессе.

В работе [16] рассматриваются общие технологические и педагогические аспекты применения электронных образовательных ресурсов в обучении школьным предметам вычленяются особенности их использования в обучении физике. Обосновывается особая значимость электронных образовательных ресурсов в преподавании физики.

В [17] описан результат разработки электронных образовательных ресурсов в педагогическом университете при помощи инструментов Google Site и MOODLE, а также проведено сравнение возможностей платформ Google Site и MOODLE для создания электронных образовательных ресурсов по физике.

В работе [18] описан результат разработки и внедрения электронного образовательного ресурса в виде сайта по нанооптике в педагогическом университете.

В [19] описан результат исследования информационных образовательных сред и электронных образовательных ресурсов по физике на примере темы по фотоэффекту, созданных с использованием инструментов Google Sites.

В работе [20] проводилось исследование электронного образовательного ресурса, созданного для изучения темы “Фотоэффект” из курса по общей и экспериментальной физике в системе управления обучением MOODLE. Использование электронного образовательного ресурса позволяет более организованно подойти к изучению темы и хранению теоретических и методических материалов, а также организации круглосуточного доступа к учебным материалам курса.

В работе [21] разработан электронный курс “Прикладные математические пакеты программ в теоретической физике и космологии”, связанный с изучением особенностей решения задач теоретической физики и теоретической космологии при помощи математических пакетов Maple и Mathematica, для потребностей учебных дисциплин магистратуры “Приоритетные направления науки в физическом образовании”.

В работе [22] описан процесс создания электронного образовательного ресурса в виде сайта по теме “Фотоэффект” при помощи инструментария Google Sites.

В работе [23] рассмотрены основы создания дистанционного курса по олимпиадным задачам по физике для дистанционного обучения в системе управления обучением MOODLE.

Результаты разработки онлайн-курса по элементарной физике

Рассмотрим результаты разработки онлайн-курса «Элементарная физика» с помощью инструментария Google Sites.

Учебный материал в онлайн-курсе по элементарной физике разбит на разделы, состоящие из модулей, минимальных по объёму, но замкнутых по содержанию, обеспечивающих изучение какого-либо объекта предметной области с сопровождением графическими иллюстрациями. Каждый модуль связан с другим модулем ссылками с наличием рекомендуемых переходов, реализующих последовательное изучение предмета. Отображение информации в виде текста, фото и видеоматериалов, звука и технологий решения задач не только позволяет увеличить скорость передачи информации учащимся и повысить уровень её понимания, но и способствует развитию таких важных для специалиста качеств, как образное мышление, профессиональная интуиция, воображение и так далее. Каждый модуль содержит в себе следующие компоненты: постановку задачи, теоретическое ядро, примеры, контрольные вопросы по всему модулю с ответами, тестовые задания, задачи и упражнения для самостоятельного решения.

Отличительной особенностью онлайн-курса по элементарной физике является предоставление обучаемым возможности самим получать знания, пользуясь ресурсами, предоставляемыми современными информационными технологиями. В качестве информационных образовательных ресурсов могут быть базы данных и базы знаний, компьютерные и мультимедийные обучающие и контролирующие системы, видеозаписи и аудиозаписи, электронные библиотеки.

Ниже представлен внешний вид онлайн-курса в виде сайта «Элементарная физика». Сайт снабжён удобной навигацией по страницам, указателем. Исходная страница онлайн-курса по элементарной физике, созданная при помощи инструментария Google Classroom, представлена на рис. 1. Она содержит название курса, подзаголовок курса, который может отражать разделы курса. Заголовок и подзаголовок курса расположены на цветном фоне, что может служить эмблемой курса. На основном поле исходной страницы курса по элементарной физике могут отражаться текущие задания и вопросы курса по элементарной физике. С исходной страницы можно открыть ленту курса и папку с файлами на совместном диске участников курса.

Для взаимодействия участников онлайн-курса по элементарной физике имеется лента курса, в который отображаются записи участников курса, и сообщения о размещённых элементах курса. Главная страница онлайн-курса по элементарной физике представлена на рис. 2. Главная страница онлайн-курса по элементарной физике включает в себя название курса, подзаголовок курса, обращающий название изучаемого раздела курса. На главной странице курса по элементарной физике расположен код доступа к курсу, по которому можно самостоятельно записаться на онлайн-курс. Главная страница онлайн-курса по элементарной физике включает в себя информацию о предмете курса и целевой аудитории курса.

Страница материалов и заданий онлайн-курса первого тематического модуля по элементарной физике в Google Classroom изображена на рис. 3. Она содержит гиперссылки на все элементы онлайн-курса по элементарной физике, которые разбиты на тематические модули. При наличии хотя бы одного элемента в модуле, тематический модуль открывается. В составе тематических модулей размещаются теоретические материалы, в состав которых входят теоретические сведения, конспекты лекций и справочные материалы по элементарной физике. В качестве теоретических материалов размещены ссылки на видеолекции по формулам и законам механики. В качестве теоретических материалов размещены презентации по истории развития механики на общем дисковом пространстве онлайн-курса по элементарной физике. Каждый тематический модуль заканчивается упражнениями, которые позволяют студенту выяснить, насколько глубоко

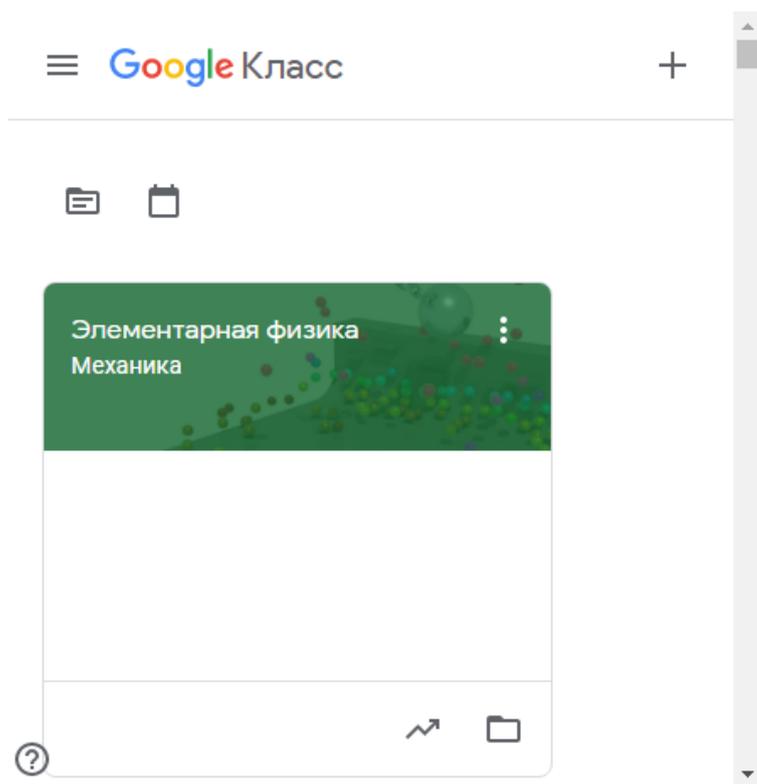


Рис. 1. Исходная страница онлайн-курса «Элементарная физика» в Google Classroom.

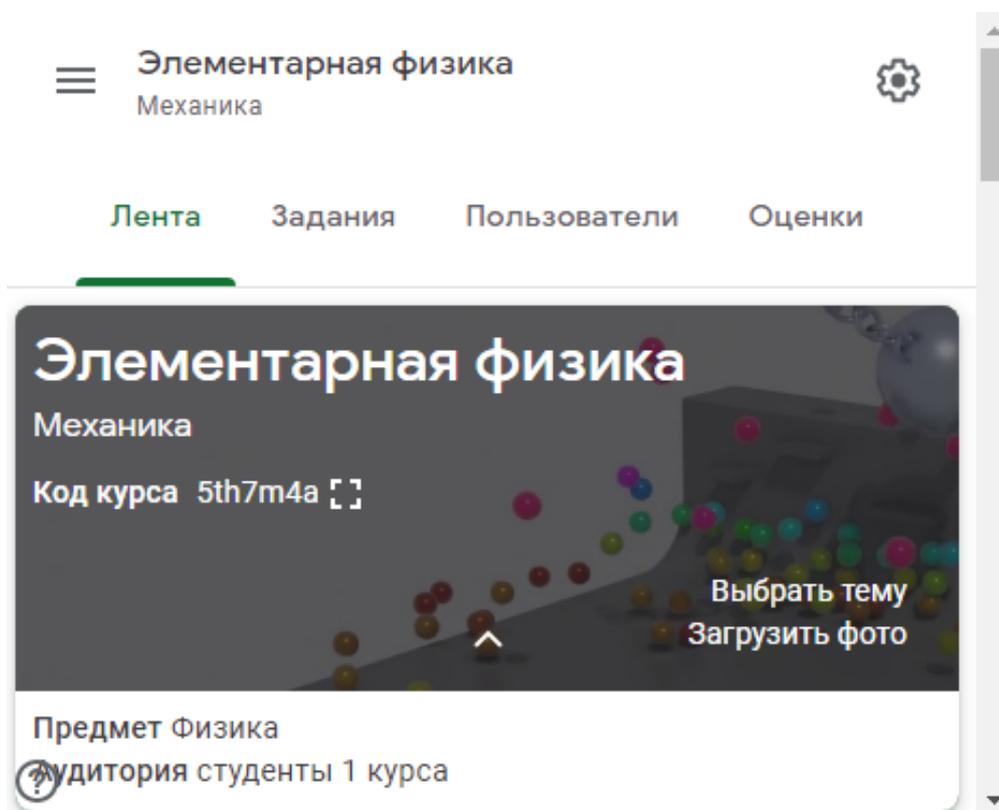


Рис. 2. Главная страница онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom.

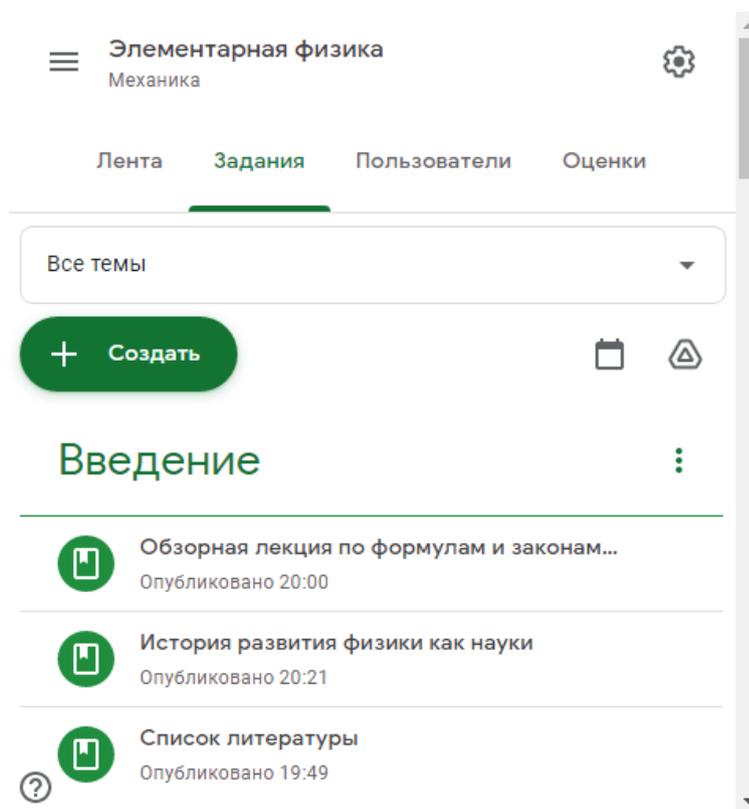


Рис. 3. Страница материалов и заданий первого тематического модуля онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom.

он усвоил учебный материал по элементарной физике.

Текущие контрольные материалы тематических модулей по курсу элементарной физики включают в себя задания и вопросы по изученной теме курса по элементарной физике. В результате в онлайн-курсе по элементарной физике функционирует постоянная обратная связь обучаемого с компьютером, позволяющая повысить эффективность процесса усвоения знаний по элементарной физике.

Изображение страницы сайта с материалами и заданиями второго тематического модуля онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom представлено на рис. 4. Второй тематический модуль с теоретическими и контролирующими материалами онлайн-курса посвящён изучению физических законов кинематики в рамках курса по элементарной физике. Тематические материалы по второй теме включают в себя лекцию по кинематике материальной точки в виде презентации на совместном диске, опорный конспект по кинематике в виде файла на совместном диске, ссылку на видеопособие по кинематике.

Страница сайта с материалами и заданиями третьего и четвёртого тематических модулей онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom изображена на рис. 5. Третий тематический модуль посвящён изучению физических законов динамики в рамках курса по элементарной физике. Четвёртый тематический модуль онлайн-курса посвящён изучению статики в рамках курса по элементарной физике. Тематические теоретические материалы по третьей и четвёртой темам курса по элементарной физике включают в себя лекцию по законам динамики в виде презентации на совместном диске, ссылку на видеоролик по решению задач олимпиадного уровня по статике, ссылку на видеоролик по решению простых задач на статику и силы трения, в которых надо чётко представлять отличия силы трения покоя и трения скольжения.

Страница материалов и заданий пятого тематического модуля онлайн-курса по эле-

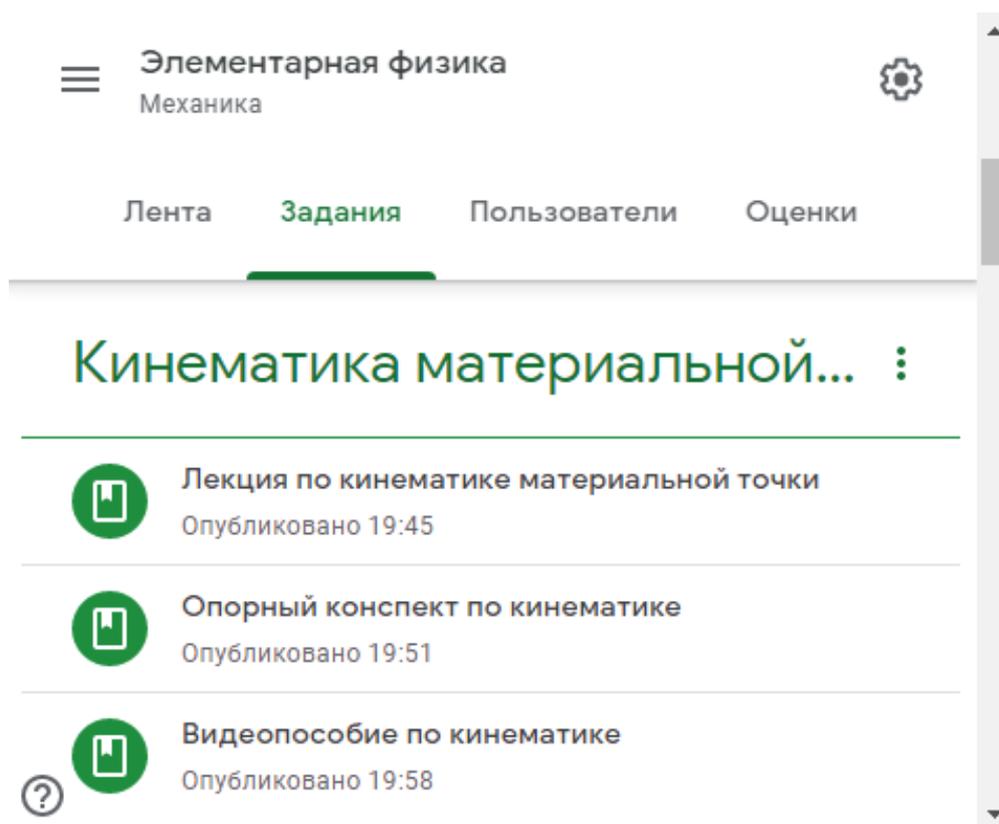


Рис. 4. Страница материалов и заданий второго тематического модуля онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom.

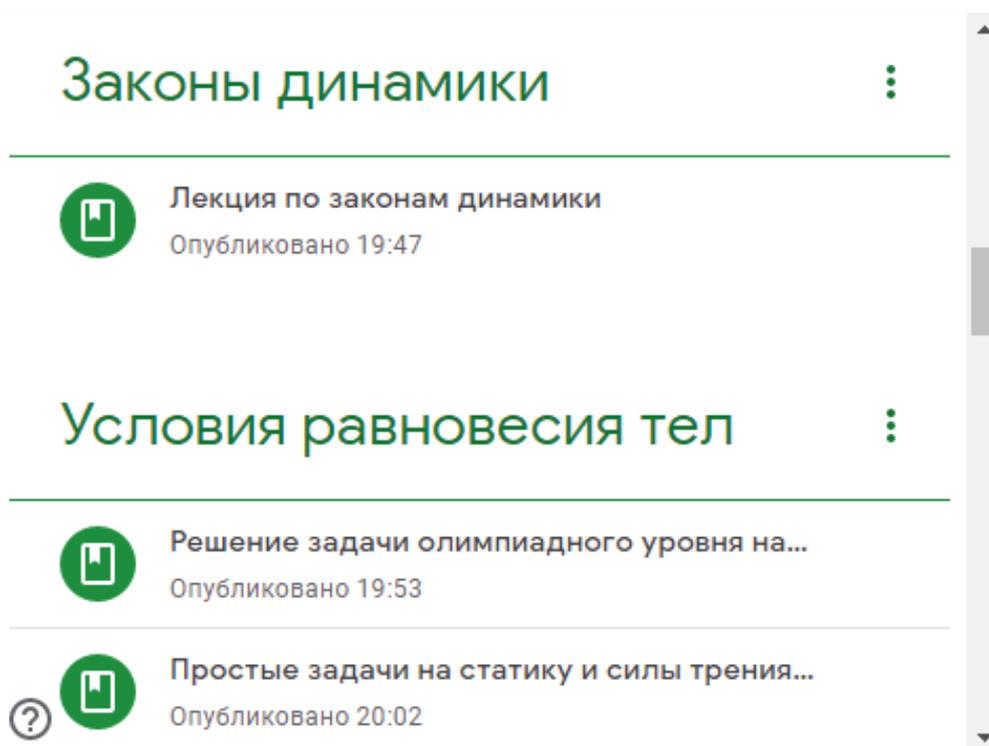


Рис. 5. Страница материалов и заданий третьего и четвертого тематических модулей онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom.

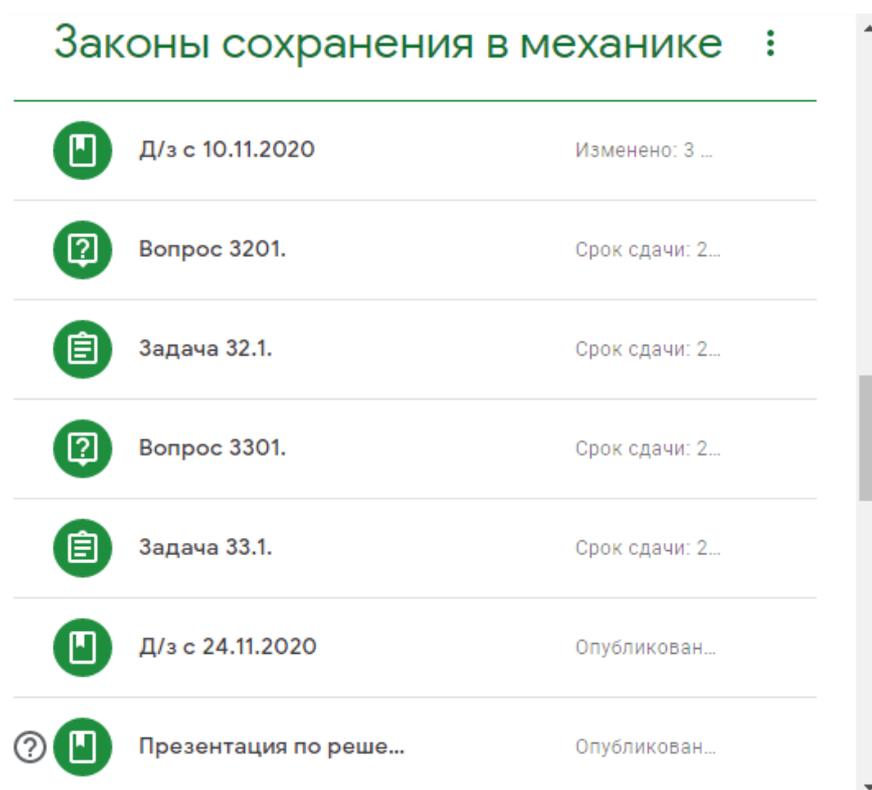


Рис. 6. Страница материалов и заданий пятого тематического модуля онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom.

ментарной физике в Google Classroom изображена на рис 6. Пятый модуль посвящён изучению законов сохранения механики в рамках курса по элементарной физике.

Тематические материалы пятого тематического модуля онлайн-курса по элементарной физике включают в себя лекции, презентаций лекций, презентаций и видеоматериалов по решению задач на использование законов сохранения в механике, контрольные вопросы, задания в виде задач на использование законов сохранения в механике задания в виде домашних заданий.

Страница материалов и заданий шестого и седьмого тематических модулей онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom изображена на рис 7. Шестой тематический модуль посвящён изучению механических колебаний и волн в рамках курса по элементарной физике. Седьмой тематический модуль посвящён изучению современного состояния и тенденций развития физики.

Главная страница Google-сайта онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис. 8. Главная страница Google-сайта онлайн-курса «Элементарная физика» содержит горизонтальные и вертикальные панели навигации по сайту, позволяющие переходить на страницы различных модулей и тем. На главной странице Google-сайта онлайн-курса «Элементарная физика» есть поиск по сайту. Главная страница Google-сайта онлайн-курса «Элементарная физика» содержит информацию о значении элементарной физики.

Для организации коллективного доступа к сайту онлайн-курса «Элементарная физика» и управления продвижением при изучении элементарной физики создана Google-группа. При помощи созданной Google-группы облегчается процедура управления доступом к модулям сайта онлайн-курса «Элементарная физика». При помощи созданной Google-группы можно организовать общение студентов и преподавателя во время изучения онлайн-курса по элементарной физике.

Страница по второй теме онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис.

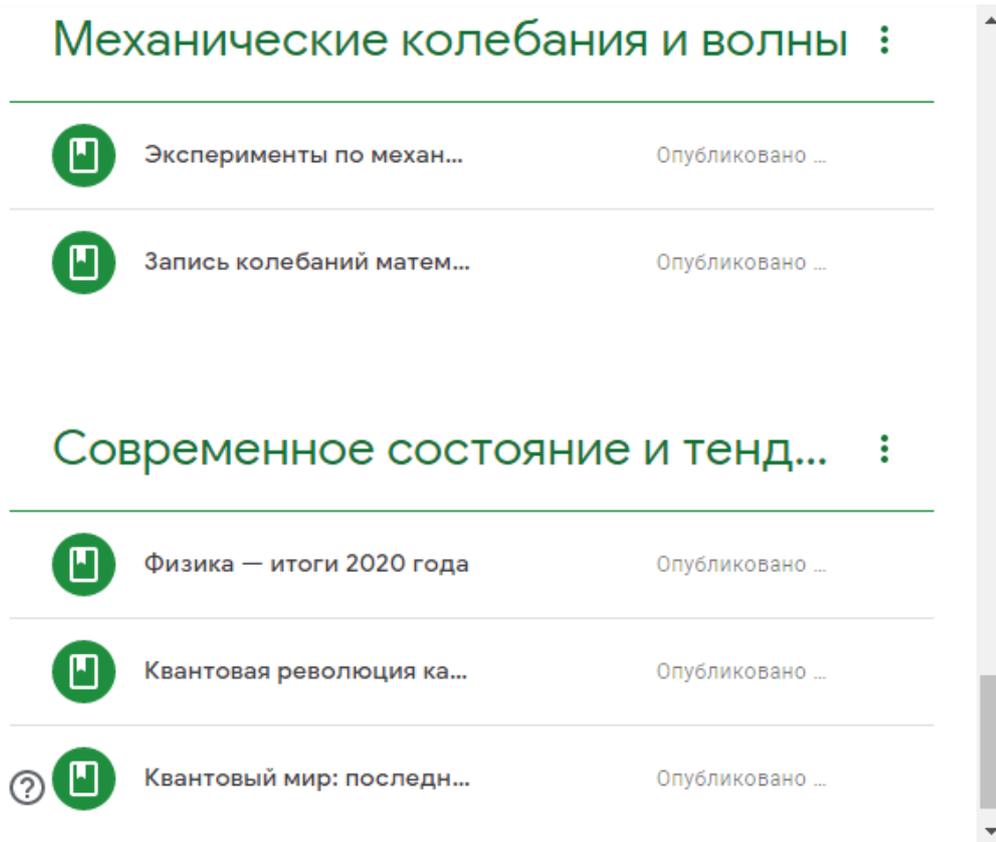


Рис. 7. Страница материалов и заданий шестого и седьмого тематических модулей онлайн-курса по элементарной физике в Google Classroom.



Рис. 8. Главная страница Google-сайта онлайн-курса «Элементарная физика».

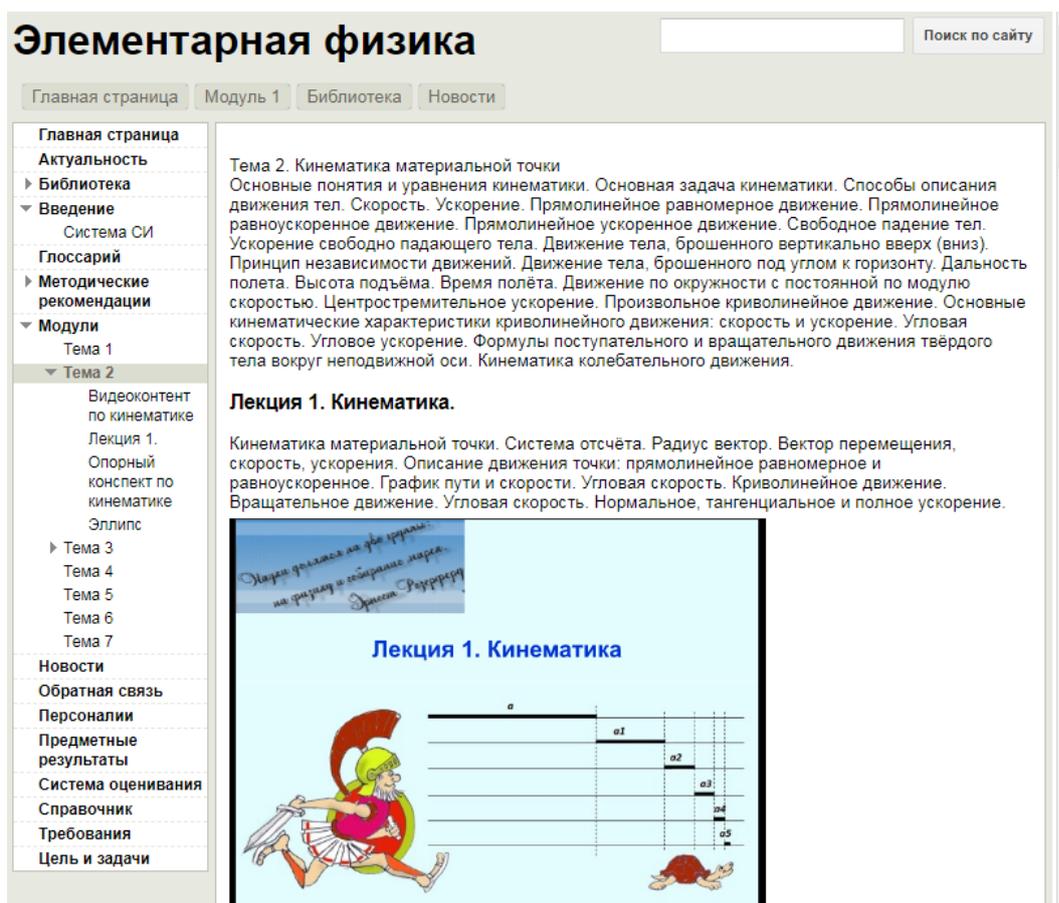


Рис. 9. Страница по второй теме онлайн-курса «Элементарная физика».

9. Вторая тема посвящена изучению кинематики материальной точки. Страница по второй теме онлайн-курса «Элементарная физика» содержит перечень вопросов по кинематике материальной точки, материалы лекций, материалы для практических занятий по кинематике материальной точки. В странице сайта по элементарной физике встроена презентация по кинематике материальной точки, которая размещена на Google-диске общего пространства онлайн-курса по элементарной физике.

Страница сайта с образовательным видеоконтентом по кинематике материальной точки из второй темы онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис. 10. На странице сайта с образовательным видеоконтентом по кинематике материальной точки находятся ссылки на видеолекции по кинематике из телеэнциклопедии.

Страница с элементами для построения эллиптической траектории движения материальной точки в центральном поле из второй темы онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис. 11. На странице с элементами для построения эллиптической траектории движения материальной точки в центральном поле из второй темы онлайн-курса «Элементарная физика» можно изменять параметры эллиптической траектории и текущее положение материальной точки.

Страница с элементами третьей темы онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис. 12. Страница по третьей теме онлайн-курса «Элементарная физика» содержит перечень вопросов по законам динамики, материалы лекций по динамике материальной точки и простейших систем, материалы для практических занятий по законам динамики. В странице сайта по элементарной физике встроена презентация по законам динамики, которая размещена на Google-диске общего пространства онлайн-курса по элементарной физике.

Страница глоссария онлайн-курса по элементарной физике изображена на рис. 13.

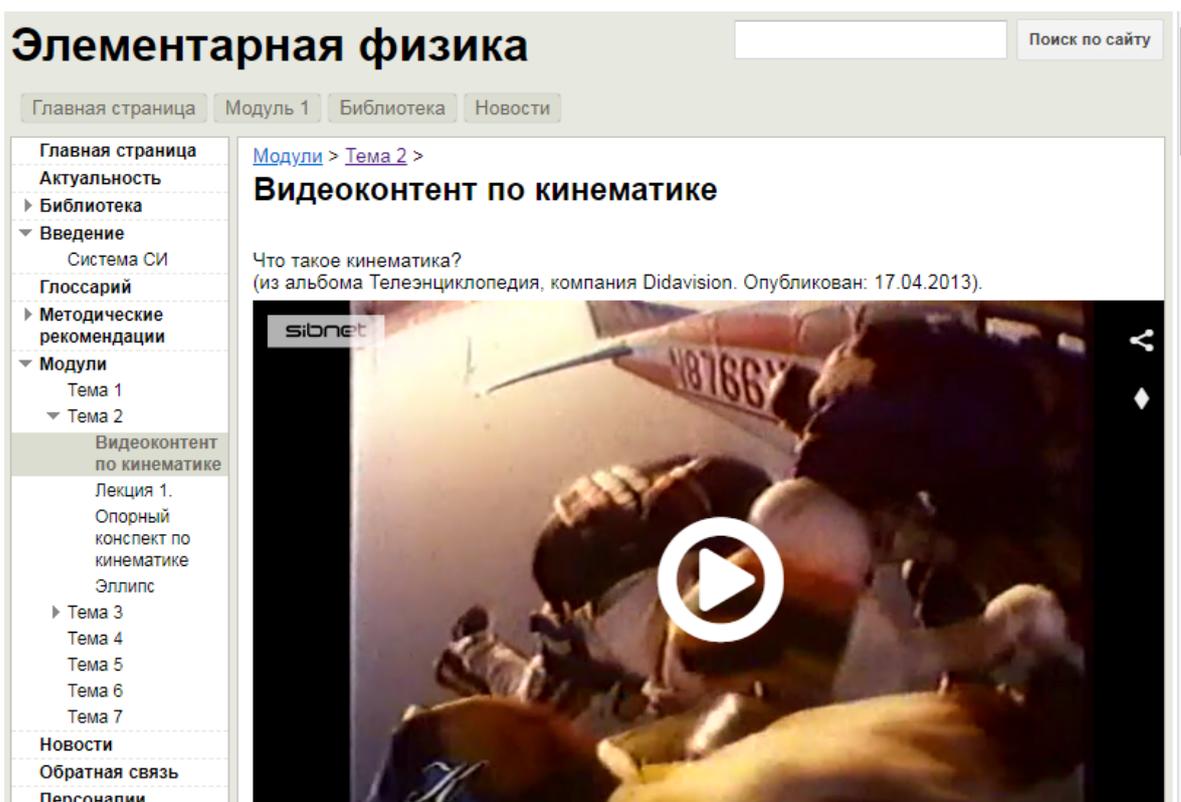


Рис. 10. Страница сайта с образовательным видеоконтентом по кинематике материальной точки из второй темы онлайн-курса «Элементарная физика».

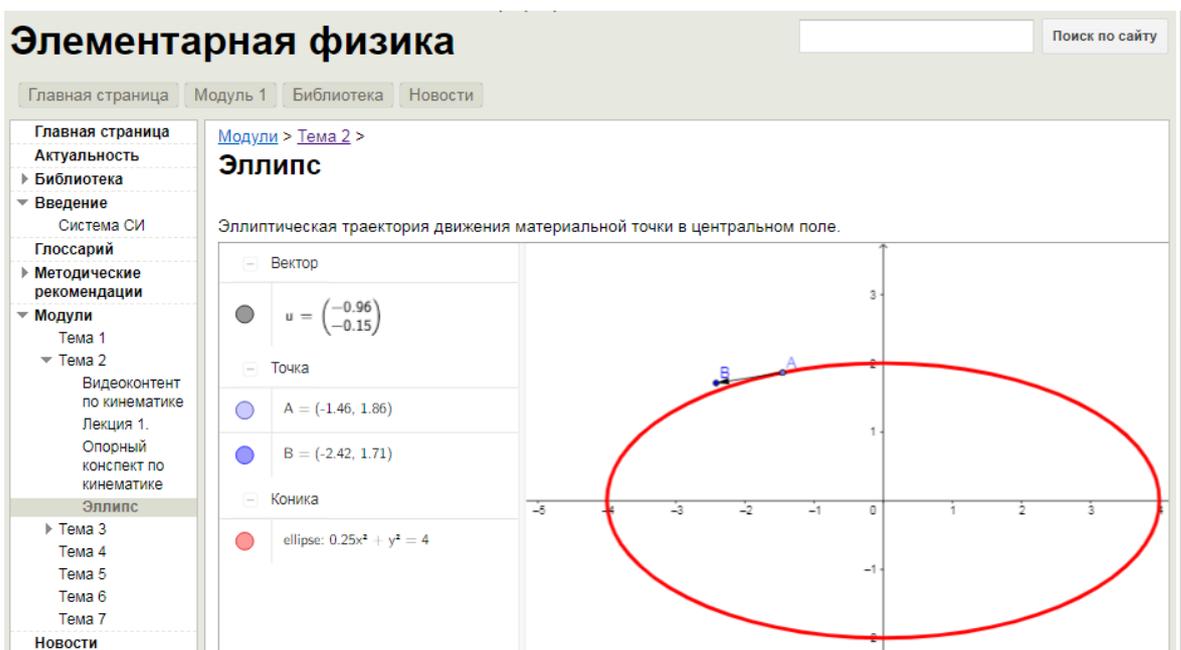


Рис. 11. Страница с элементами для построения эллиптической траектории движения материальной точки в центральном поле из второй темы онлайн-курса «Элементарная физика».

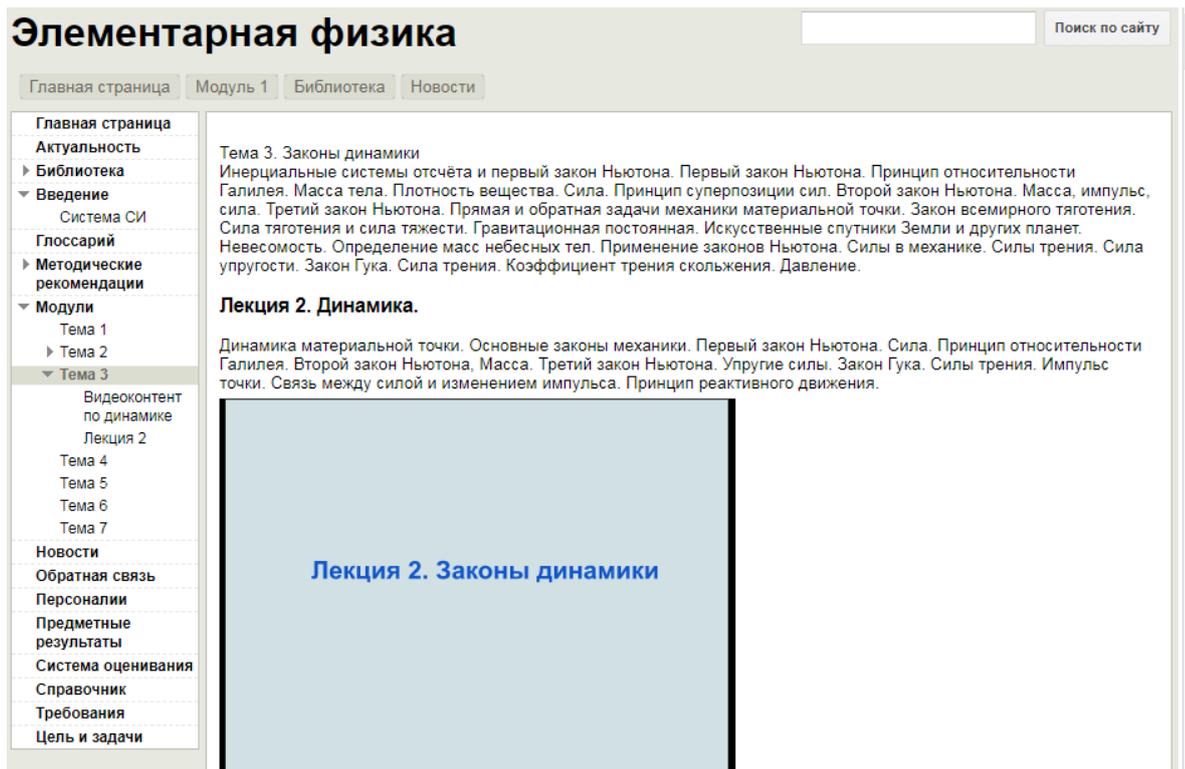


Рис. 12. Страница с элементами третьей темы онлайн-курса «Элементарная физика».

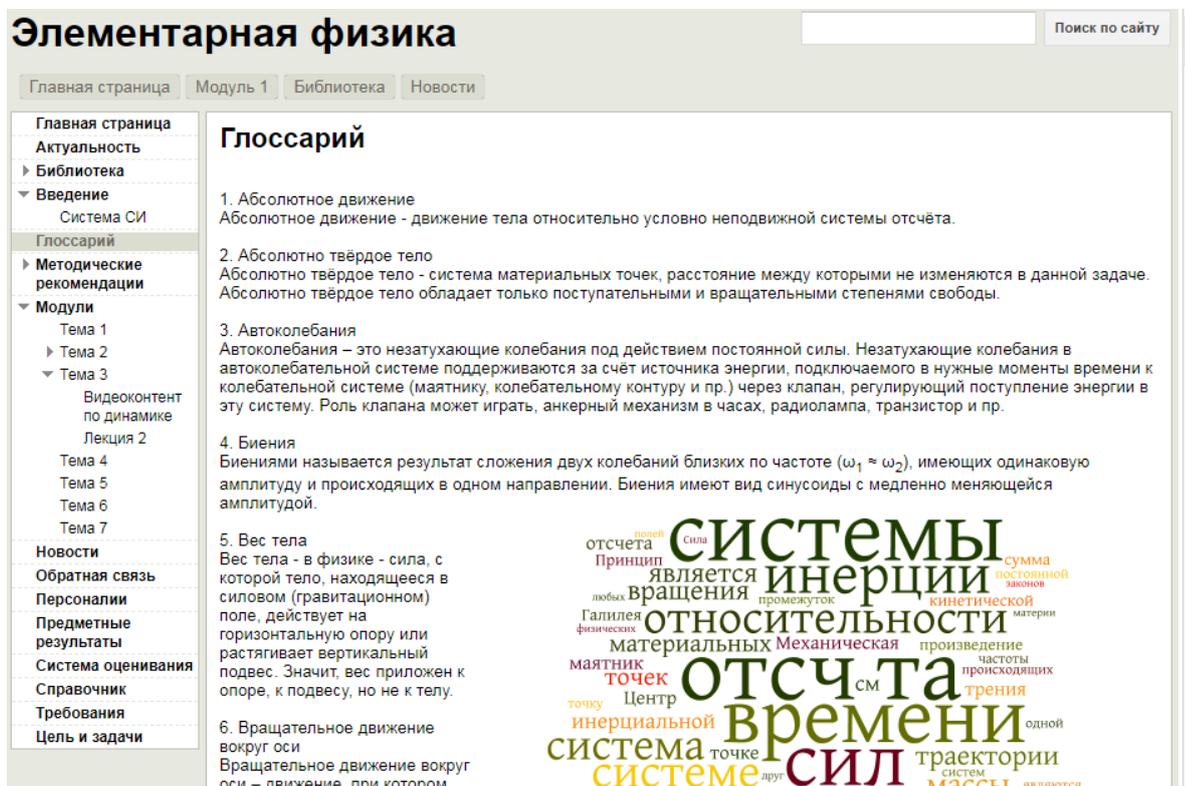


Рис. 13. Страница глоссария онлайн-курса «Элементарная физика».

Глоссарий онлайн-курса по элементарной физике представляет собой словарь терминов по элементарной физике, упорядоченный в алфавитном порядке.

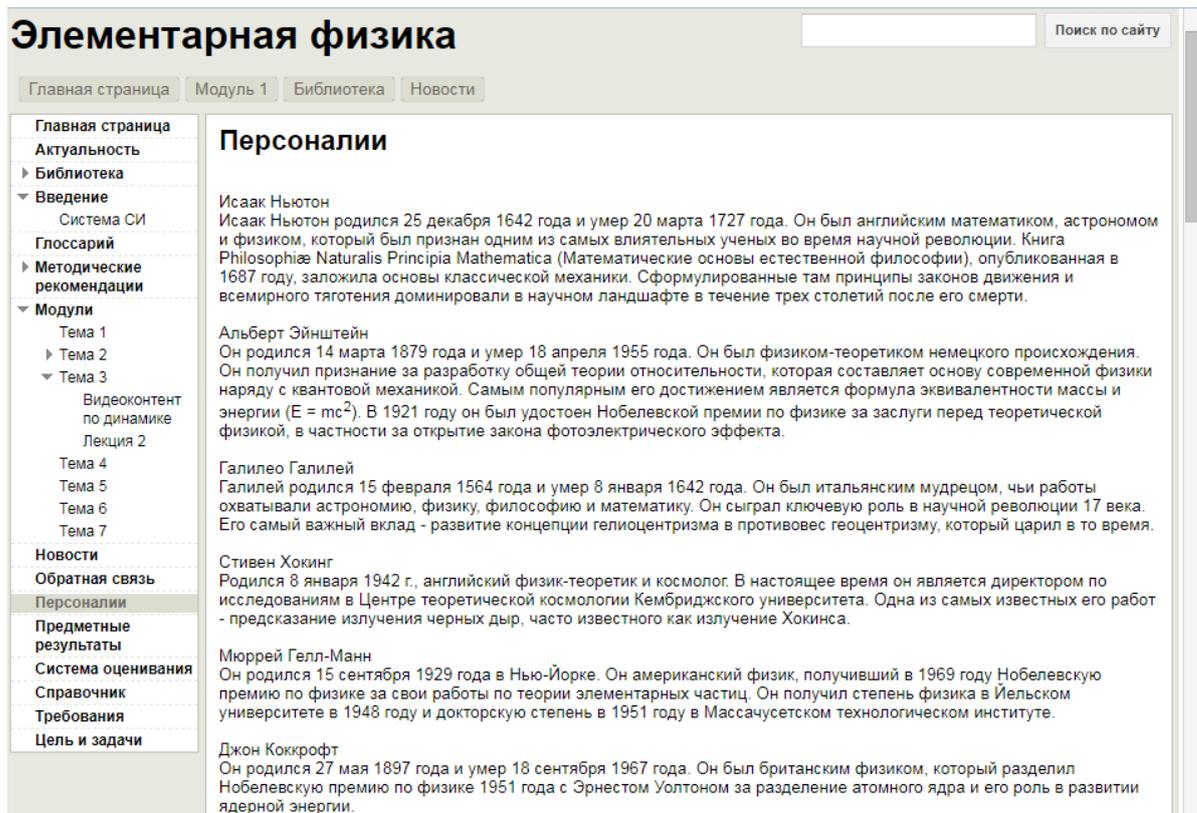


Рис. 14. Страница персоналий онлайн-курса «Элементарная физика».

Страница персоналий онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис. 14.

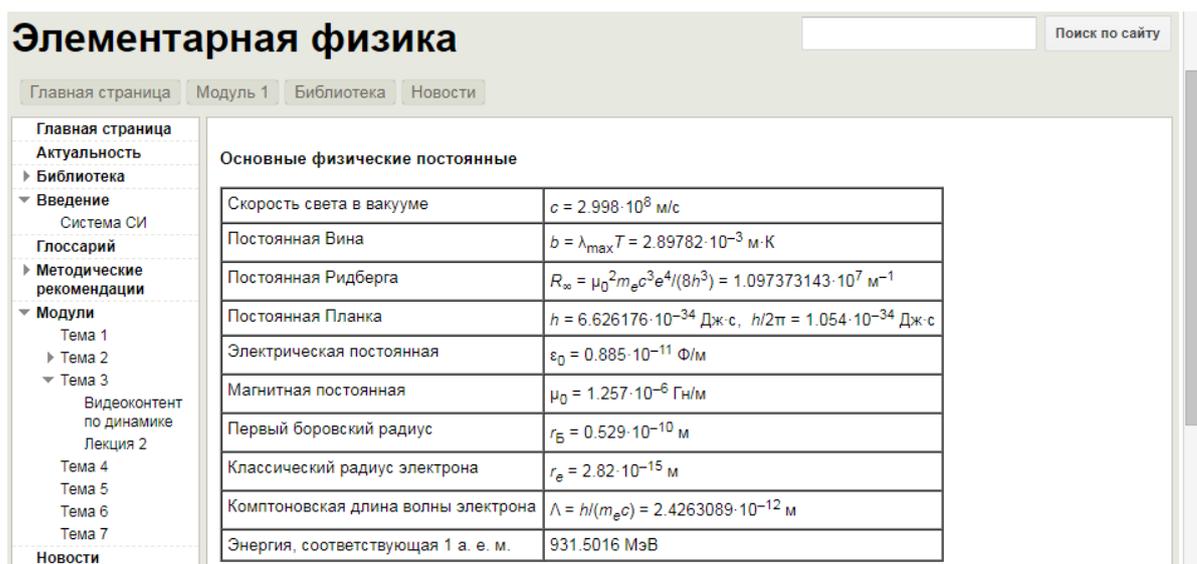


Рис. 15. Страница справочных данных онлайн-курса «Элементарная физика».

Страница справочных данных онлайн-курса «Элементарная физика» изображена на рис. 15.

Важным инструментом для организации коллективной деятельности студентов являются сервисы Google. В онлайн-курсе по элементарной физике применяются такие

Google-документы, как коллективные презентации, коллективные текстовые документы, формы, используемые при выполнении заданий курса. Так, при выполнении заданий на занятиях по элементарной физике студентам предлагается заполнить коллективные презентации и коллективные документы. Для наполнения презентации обучающиеся используют различные интернет-ресурсы, в том числе видеоролики по элементарной физике с сайта youtube.com. В процессе работы над презентацией, текстовым документом в Google обучающиеся имеют возможность обсуждать проблемные вопросы в чате, который является компонентом среды Google. Сервисы Google предоставляют широкий набор инструментов для создания как индивидуальной, так и коллективной образовательной продукции. Можно использовать Google-документы для создания эффективных презентаций, интерактивных рабочих листов, Google-карт, закладок. Современный педагог должен иметь представление о них и уметь применять их в своей профессиональной деятельности. Активно используются на занятиях Google-формы. Существует возможность организации коллективного обсуждения отдельных вопросов темы с помощью Google-формы и Google-таблицы. Данный приём позволяет дополнительно поддерживать внимание обучающихся во время занятия и через критерии, прописанные в Google-форме, активизировать их мыслительную деятельность. Google-формы целесообразно применять и на лекционных занятиях, если у обучающихся есть ноутбуки, планшеты или смартфоны (что вполне выполнимо, учитывая степень распространения различных мобильных устройств).

Проанализируем данные по успеваемости студентов первого курса педагогического университета по дисциплине «Элементарная физика». Для анализа были выбраны студенты, обучающиеся в группе по профилю подготовки, связанному с физикой и математикой.

В группе ФМ-19 дисциплина «Элементарная физика» читалась в 2019-2020 учебном году. Экзамен по дисциплине «Элементарная физика» в группе ФМ-19 проходил 17 января 2020 года. Группа ФМ-19 состоит из 24 студентов. На экзамене по элементарной физике оценку «отлично» получили 15 студентов, оценку «хорошо» получили 7 студентов, оценку «удовлетворительно» получили 2 студента, оценку «неудовлетворительно» получили 0 студентов, не явились на экзамен и были не аттестованы 0 студентов. Успеваемость по элементарной физике студентов группы ФМ-19 составляет 100 %. Качество знаний по элементарной физике студентов группы ФМ-19 составляет 91.67 %. Степень обученности по элементарной физике студентов группы ФМ-19 составляет 84.17 %. Степень обученности по элементарной физике студентов группы ФМ-19 находится на оптимальном уровне. Средний балл студентов группы ФМ-19 по дисциплине «Элементарная физика» составляет 4.54.

В группе ФМ-18 дисциплина «Элементарная физика» читалась в 2018-2019 учебном году. Экзамен по дисциплине «Элементарная физика» в группе ФМ-18 проходил 18 января 2019 года. Группа ФМ-18 состоит из 29 студентов. На экзамене по элементарной физике оценку «отлично» получили 10 студентов, оценку «хорошо» получили 14 студентов, оценку «удовлетворительно» получили 5 студентов, оценку «неудовлетворительно» получили 0 студентов, не явились на экзамен и были не аттестованы 0 студентов. Успеваемость по элементарной физике студентов группы ФМ-18 составляет 100 %. Качество знаний по элементарной физике студентов группы ФМ-18 составляет 82.76 %. Степень обученности по элементарной физике студентов группы ФМ-18 составляет 71.59 %. Степень обученности по элементарной физике студентов группы ФМ-18 находится на оптимальном уровне. Средний балл студентов группы ФМ-18 по дисциплине «Элементарная физика» составляет 4.17.

В группе ФМ-17 дисциплина «Элементарная физика» читалась в 2017-2018 учебном году. Экзамен по дисциплине «Элементарная физика» в группе ФМ-17 проходил

15 декабря 2017 года. Группа ФМ-17 состоит из 31 студента. На экзамене по элементарной физике оценку «отлично» получили 7 студентов, оценку «хорошо» получили 18 студентов, оценку «удовлетворительно» получили 5 студентов, оценку «неудовлетворительно» получили 0 студентов, не явились на экзамен и были не аттестованы 1 студент. Успеваемость по элементарной физике студентов группы ФМ-17 составляет 96.77%. Качество знаний по элементарной физике студентов группы ФМ-17 составляет 80.65%. Степень обученности по элементарной физике студентов группы ФМ-17 составляет 65.77%. Степень обученности по элементарной физике студентов группы ФМ-17 находится на оптимальном уровне. Средний балл студентов группы ФМ-17 по дисциплине «Элементарная физика» составляет 3.94.

По результатам анализа успеваемости трёх групп по дисциплине «Элементарная физика» в периоды традиционного и смешанного обучения можно сделать вывод о том, что использование смешанных форм обучения элементарной физике не сказывается сильным образом на снижении успеваемости студентов по учебной дисциплине «Элементарная физика».

Заключение

В работе рассмотрены некоторые аспекты процесса создания онлайн-курса по учебной дисциплине «Элементарная физика». Дистанционный курс «Элементарная физика» разработан при помощи инструментария Google Sites и Google Classroom.

На основе анализа литературы по курсам элементарной физики показана актуальность создания онлайн-курса «Элементарная физика» и проведена систематизация теоретическим материалов по элементарной физике, которая позволила наполнить теоретическими материалами онлайн-курс по учебной дисциплине «Элементарная физика».

В составе онлайн-курса «Элементарная физика» представлены элементы для проверки теоретических знаний по элементарной физике, позволяющая организовать автоматизированную проверку знаний по элементарной физике. Онлайн-курс «Элементарная физика» содержит иллюстративные материалы, включая мультимедийные средства для объяснения понятий, явлений и законов элементарной физики. Онлайн-курс «Элементарная физика» должен максимально облегчить понимание и запоминание (причём активное, а не пассивное) наиболее существенных понятий, утверждений и законов элементарной физики, вовлекая в процесс обучения элементарной физике иные, нежели традиционный учебник, возможности человеческого мозга, в частности, слуховую и эмоциональную память, а также используя компьютерные объяснения в онлайн-лекциях по элементарной физике. Разработаны элементы модулей онлайн-курса «Элементарная физика», позволяющие контролировать усвоение знаний по элементарной физике от репродуктивного до творческого уровня.

Онлайн-курс «Элементарная физика» делает процесс изучения теоретического материала по элементарной физике доступным и наглядным. Онлайн-курс «Элементарная физика» является удобным при самостоятельном изучении теоретического материала по элементарной физике. Когда возникает вопрос по теме курса элементарной физики, можно с помощью гиперссылки быстро перейти к нужному теоретическому материалу в виде лекций или страниц с текстовыми материалами или видеоматериалами, посмотреть образцы решения задач по элементарной физике и вернуться обратно к своему заданию.

Онлайн-курс «Элементарная физика», созданный с использованием инструментария Google Sites, способен автоматизировать трудоёмкие элементы при проверке тестовых заданий по элементарной физике. Курс «Элементарная физика» может быть использован при проведении обучения с использованием смешанной технологии в педагогическом университете.

Список использованных источников

1. Орлов Ю. Н. Использование электронных образовательных ресурсов в преподавании физики // Научный поиск. — 2012. — № 4.4. — С. 78–79.
2. Черных А. А. ЭОР как средство повышения познавательной активности учащихся на уроках физики // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. Материалы X Региональной научно-практической конференции. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр “Научная книга”, 2016. — С. 136–138.
3. Гаряев А. В., Калинин И. Ю. Авторские ЭОР в процессе преподавания физики в общеобразовательной школе // В сборнике: Информационные технологии в образовании XXI века. Сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции. — Москва : Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 2013. — С. 203–205.
4. Прояненко Л. А. ЭОР по физике на основе концепции П. Я. Гальперина // В сборнике: Образование в цифровую эпоху: проблемы и перспективы. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Астрахань, 25-26 апреля 2019 года. — Астрахань : Астраханский государственный университет, Издательский дом “Астраханский университет”, 2019. — С. 137–141.
5. Полонянкин Д. А. Электронный образовательный ресурс “Online-physics.ru” // Навигатор в мире науки и образования. — 2012. — № 4-7 (20-23). — С. 350–350.
6. Касимова А. А., Ахмедова З. А., Касимов А. К. Использование электронных образовательных ресурсов в школьном курсе физики // Мир науки, культуры, образования. — 2016. — № 1 (56). — С. 85–87.
7. Флегонтова Е. А. Организация внеклассной работы по физике средствами электронных образовательных ресурсов // Студенческая наука и XXI век. — 2018. — № 2-2. — С. 398–400.
8. Талхигова Х. С. Использование электронных образовательных ресурсов в процессе обучения физике // Экономические и гуманитарные исследования регионов. — 2020. — № 1. — С. 80–83.
9. Герасимова Т. Ю., Леонова В. П. Электронный образовательный ресурс как средство обучения физике // Chronos. — 2020. — № 7 (44). — С. 34–38.
10. Кузьмина О. В. Применение электронных образовательных ресурсов на уроках физики // В сборнике: Интернет-технологии в образовании. Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Чебоксары : Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева, 2016. — С. 72–78.
11. Кириллова Б. Н., Никитин П. Б. Использование электронных образовательных ресурсов на факультативах по физике // Ученые записки ИСГЗ. — 2015. — Т. 13, № 1. — С. 260–265.
12. Попов В. В. Организация работы с электронным образовательным ресурсом при изучении физики и астрономии // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. — 2017. — Т. 1, № 4 (19). — С. 60–62.

13. Надолинская Т. В., Россинская С. А. Конструирование и моделирование электронных образовательных продуктов с использованием облачных технологий. — Ростов-на-Дону : ГБУ ДПО РО РИПК и ППРО, 2020. — 60 с.
14. Алтунин К. К., Кандрашкина М. С. Разработка электронного образовательного ресурса по механике и термодинамике в TurboSite // Наука online. — 2018. — № 3 (4). — С. 94–114.
15. Анисимова Э. С. Возможности применения информационных технологий на уроках физики // Экономика и социум. — 2015. — № 2-5 (15). — С. 1048–1049.
16. Сытин В. Г. Электронные образовательные ресурсы в обучении физике: общее и особенное // Открытое и дистанционное образование. — 2012. — № 1 (45). — С. 36–41.
17. Алтунин К. К. Разработка электронного образовательного ресурса в университете при помощи инструментов Google Site и MOODLE // Поволжский педагогический поиск. — 2017. — № 3 (21). — С. 116–124.
18. Алтунин К. К. Разработка и внедрение электронного курса по нанооптике // В книге: Актуальные проблемы физической и функциональной электроники материалы 19-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара. — 2016. — С. 128–129.
19. Алтунин К. К., Коннова Т. С. Исследование информационных образовательных сред и электронных учебников на примере темы “Фотоэффект” // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции. — 2016. — С. 11–16.
20. Алтунин К. К. Исследование электронного образовательного ресурса по теме “Фотоэффект” в системе дистанционного обучения MOODLE // Наука online. — 2018. — № 1 (2). — С. 95–99.
21. Алтунин К. К. Разработка электронного курса “Прикладные математические пакеты программ в теоретической физике и космологии” // Наука online. — 2018. — № 2 (3). — С. 41–52.
22. Алтунин К. К., Коннова Т. С. Исследование электронного образовательного ресурса по теме “Фотоэффект” // SMART-образование Ульяновской области. — 2017. — Т. 1, № 2. — С. 98–108.
23. Алтунин К. К., Лушников Ю. О., Назарова Т. В. Электронный курс по олимпиадным задачам по физике // Наука online. — 2018. — № 2 (3). — С. 53–69.

Сведения об авторах:

Яна Сергеевна Замлелова — магистрант факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: zamlelowa1998@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-6761-5478

Web of Science ResearcherID  ABA-5168-2020

Development of elements of an online course on elementary physics

Ya. S. Zamblelova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted October 27, 2020

Resubmitted November 28, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. A description of the development of elements of an online course on elementary physics using the Google Sites and Google Classroom tools has been made. An online course on elementary physics, created using the Google Sites and Google Classroom toolkit, can be used to inform blended learning of students in the study of elementary physics, as well as to visualize the process of teaching elementary physics. The use of control elements of the online course in elementary physics will allow systematizing the control of theoretical knowledge in elementary physics.

Keywords: course, elementary physics, kinematics, dynamics, online course, teacher education, informatization of education, the educational process of the university, distance learning methodology

PACS: 01.40.Di

References

1. Orlov Yu. N. Use of electronic educational resources in teaching physics // *Scientific Search*. — 2012. — no. 4.4. — P. 78–79.
2. Chernykh A. A. Electronic educational resource as a means of increasing the cognitive activity of students in physics lessons // In the proceedings: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X Regional Scientific and Practical Conference. — Voronezh : Publishing and Printing Center “Scientific Book”, 2016. — P. 136–138.
3. Garyaev A. V., Kalinin I. Yu. Author’s electronic educational resource in the process of teaching physics in secondary schools // In the proceedings: Information technologies in education of the XXI century. Collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. — Moscow : National Research Nuclear University MEPhI, 2013. — P. 203–205.
4. Proyanenkova L. A. Electronic educational resource in physics based on the concept of P. Ya. Galperin // In the proceedings: Education in the digital age: problems and prospects. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Astrakhan, April 25-26, 2019. — Astrakhan : Astrakhan State University, Astrakhan University Publishing House, 2019. — P. 137–141.
5. Polonyankin D. A. Electronic educational resource “Online-physics.ru” // *Navigator in the world of science and education*. — 2012. — no. 4-7 (20-23). — P. 350–350.

6. Kasimova A. A., Akhmedova Z. A., Kasimov A. K. Use of electronic educational resources in the school physics course // *The world of science, culture, education*. — 2016. — no. 1 (56). — P. 85–87.
7. Flegontova E. A. Organization of extracurricular work in physics by means of electronic educational resources // *Student Science and the XXI Century*. — 2018. — no. 2-2. — P. 398–400.
8. Talkhigova X. S. Use of electronic educational resources in the process of teaching physics // *Economic and humanitarian studies of regions*. — 2020. — no. 1. — P. 80–83.
9. Gerasimova T. Yu., Leonova V.P. Electronic educational resource as a means of teaching physics // *Chronos*. — 2020. — no. 7 (44). — P. 34–38.
10. Kuzmina O. V. Application of electronic educational resources in physics lessons // *In the proceedings: Internet technologies in education. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. — Cheboksary : Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, 2016. — P. 72–78.
11. Kirillova B. N., Nikitin P. B. Use of electronic educational resources for electives in physics // *Scholarly Notes of the ISGS*. — 2015. — Vol. 13, no. 1. — P. 260–265.
12. Popov B. V. Organization of work with an electronic educational resource in the study of physics and astronomy // *Bulletin of the Council of Young Scientists and Specialists of the Chelyabinsk Region*. — 2017. — Vol. 1, no. 4 (19). — P. 60–62.
13. Nadolinskaya T. V., Rossinskaya S. A. Design and modeling of electronic educational products using cloud technologies. — Rostov-on-Don : GBU DPO RO RIPK and PPRO, 2020. — 60 p.
14. Altunin K. K., Kandrashkina M. S. Development of an electronic educational resource on mechanics and thermodynamics in TurboSite // *Science online*. — 2018. — no. 3 (4). — P. 94–114.
15. Anisimova E. S. Possibilities of using information technologies in physics lessons // *Economy and society*. — 2015. — no. 2-5 (15). — P. 1048–1049.
16. Sytin B. G. Electronic educational resources in teaching physics: general and specific // *Open and Distance Education*. — 2012. — no. 1 (45). — P. 36–41.
17. Altunin K. K. Development of an electronic educational resource at the university using the Google Site and MOODLE tools // *Volga region pedagogical search*. — 2017. — no. 3 (21). — P. 116–124.
18. Altunin K. K. Development and implementation of an electronic course on nano-optics // *In the book: Actual problems of physical and functional electronics materials of the 19th All-Russian youth scientific school-seminar*. — 2016. — P. 128–129.
19. Altunin K. K., Konnova T. S. Research of information educational environments and electronic textbooks on the example of the topic “Photoeffect” // *In the proceedings: Topical issues of teaching technical disciplines Materials of the All-Russian correspondence scientific and practical conference*. — 2016. — P. 11–16.

20. Altunin K. K. Research of an electronic educational resource on the topic “Photoeffect” in the MOODLE distance learning system // Science online. — 2018. — no. 1 (2). — P. 95–99.
21. Altunin K. K. Development of an electronic course “Applied mathematical software packages in theoretical physics and cosmology” // Science online. — 2018. — no. 2 (3). — P. 41–52.
22. Altunin K. K., Konnova T. S. Research of an electronic educational resource on the topic “Photoeffect” // SMART education of the Ulyanovsk region. — 2017. — Vol. 1, no. 2. — P. 98–108.
23. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O., Nazarova T. V. Electronic course on Olympiad problems in physics // Science online. — 2018. — no. 2 (3). — P. 53–69.

Information about authors:

Yana Sergeevna Zamblelova — Master’s student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: zamblelova1998@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-6761-5478

Web of Science ResearcherID  ABA-5168-2020

Авторский указатель

Алтунин, К. К., 53, 75, 99

Бурмистрова, Н. Ю., 121

Волкова, Е. Е., 131

Глухов, В. П., 45

Гришанина, Е. А., 53

Замлелова, Я. С., 160

Казаков, В. А., 45

Карташова, А. А., 1, 149

Кузьмина, Е. С., 37

Купреянова, Е. А., 29

Синдяев, А. В., 45

Тырлышкина, О. В., 19

Узкая, А. С., 45

Шлёнкина, Е. А., 75

Штром, Е. С., 99

