ISSN 2712-8326

НАУКА ONLINE
SCIENCE ONLINE

Электронный научный журнал
№ 4 (17)| 2021

http://nauka-online.ru/

НАУКА ONLINE, № 4 (17), 2021.

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 (17), 2021.

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 (Roskomnadzor).

ISSN 2712-8326

Published 4 times a year.

Founder: Ulyanovsk State 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 преподавания физики 1

1 Педагогическое проектирование системы олимпиадных задач по термодинамике в школе
Т. В. Галоватюк

22 Результаты преподавания дисциплин по выбору из блока специальных дисциплин физико-технической направленности в педагогическом университете
К. К. Алтунин

Физико-математические науки 30

Оптика 30

30 Исследование оптического пропускания и отражения нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами
К. К. Алтунин, Е. В. Александрова

49 Исследование оптического пропускания границы раздела композитной среды с включениями из микротрубчатого метаматериала
К. К. Алтунин, Е. А. Шлёнкина

Современные информационные технологии в физике 63

63 Разработка элементов дистанционного курса по оптике наноструктур в системе управления обучением MOODLE
Е. А. Гришанина

79 Разработка дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE
Е. Е. Волкова

Авторский указатель 93

CONTENTS

Pedagogical sciences 1

Theory of education and teaching physics 1

1 Pedagogical design of the system of Olympiad tasks in thermodynamics at school
T. V. Galovatyuk

22 The results of teaching disciplines of choice from the block of special disciplines of physical and technical orientation at the Pedagogical University
K. K. Altunin

Physics and mathematics 30

Optics 30

30 Investigation of optical transmission and reflection of nanocomposite structures with metal nanoparticles
K. K. Altunin, E. V. Alexandrova

49 Investigation of the optical transmission of the interface of a composite medium with inclusions from a microtubular metamaterial
K. K. Altunin, E. A. Shlyonkina

Modern information technologies in physics 63

63 Development of elements of a distance course on the optics of nanostructures in the learning management system MOODLE
E. A. Grishanina

79 Development of a distance course on modern nanoplasmonics in the learning management system MOODLE
E. E. Volkova

Author's index 93

Секция 1

Педагогические науки

УДК 53.01
ББК 22.3
ГРНТИ 29.01.45
ВАК 13.00.02

Педагогическое проектирование системы олимпиадных задач по термодинамике в школе

Т. В. Галоватюк [1]

МБОУ г. Ульяновска «Средняя школы № 85», 432066, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 5 сентября 2021 года
После переработки 12 сентября 2021 года
Опубликована 10 декабря 2021 года

Аннотация. Рассмотрен процесс педагогического проектирования системы олимпиадных задач по термодинамике в общеобразовательной школе. Разработана система задач и заданий по оптике для подготовки к олимпиадам по физике учащихся одиннадцатых классов общеобразовательной школы. Проведён анализ различных задач олимпиадного типа по термодинамике. Описаны решения задач олимпиадного типа по термодинамике. Созданные методические материалы по олимпиадным задачам по термодинамике могут быть использованы в процессе создания новой методологии обучения методам решения олимпиадных задач в рамках очного бакалавриата и очной магистратуры по педагогическому направлению подготовки физико-математического профиля в педагогическом университете, пополнении научной базы актуальными методическими материалами по обучению методам и способам решения олимпиадных задач по физике в старших классах общеобразовательной школы.

Ключевые слова: физика, термодинамика, физическое образование, задачи по физике, система подготовки учащихся, система задач по физике, методы решения задач

PACS: 01.40.-d

[1] E-mail: nazarowa.tanja@yandex.ru

Введение

Одной из приоритетных задач современного образования по физике в старших классах общеобразовательной школы становится обучение и воспитание наиболее подготовленных учащихся по физике к участию к олимпиадах различных уровней. При этом важным оказывается не только развитие предметной подготовки учащихся по физике, но и выявление этой подготовки, ещё никак не проявившейся у обучающихся. В настоящее время существует большое количество олимпиад по физике и физико-математическим дисциплинам, поэтому становится актуальной создание системы подготовки школьников к олимпиадам по физике различного уровня.

Целью работы является исследование внедрение системы олимпиадных задач по термодинамике в общеобразовательной школе.

Объектом исследования является система олимпиадных задач по термодинамике в 11 классе общеобразовательной школы.

Предметом исследования является процесс обучения решению задач по термодинамике разного уровня и типа в 11 классе общеобразовательной школы.

Научная новизна работы заключается в совместном использовании традиционных и смешанных форм подготовки к олимпиадам по физике.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать систему олимпиадных задач по термодинамике в систематически организованной подготовке в традиционной форме в сочетании с использованием информационных технологий, то можно создать эффективную систему подготовки к олимпиадам по физике в общеобразовательной школе.

В качестве методов исследования применяются методы решения олимпиадных задач по термодинамике в 11 классе общеобразовательной школы.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что созданные методические материалы по олимпиадным задачам по термодинамике могут быть использованы в процессе создания новой методологии обучения методам решения олимпиадных задач в рамках очного бакалавриата и очной магистратуры по педагогическому направлению подготовки физико-математического профиля в педагогическом университете, пополнении научной базы актуальными методическими материалами по обучению методам и способам решения олимпиадных задач по физике в старших классах общеобразовательной школы.

Практическая значимость исследования заключается в выявлении характерных особенностей решений олимпиадных задач по оптике, которые могут быть использованы в рамках процессе преподавания методов решения олимпиадных задач в очном бакалавриате и очной магистратуре по педагогическому направлению подготовки физико-математического профиля в педагогическом университете.

Обзор работ по методике решения задач по физике в школе

Система нестандартных задач школьного курса физики по теме «Закон сохранения», расширяющая представления школьников о механических взаимодействиях, рассматривается в статье[1].

Вопрос об активизации работы студентов при проведении практических занятий по курсу общей физики рассматривается в работе [2]. Анализируется выбор задач, решение которых необходимо для закрепления раздела «законы сохранения в механике». Предлагается использовать задачи, извлеченные из трудов выдающихся исследователей: физиков и механиков. Приведена подборка таких задач и выявлены особенности задач, способствующие повышению интереса учащихся к учебе и улучшению их знаний.

В [3] рассматривается содержание понятия «задача» в педагогической науке. Обсуж-

дается проблема видового разнообразия физических задач. На основе информационной модели учебного процесса предложена классификация физических задач. Показано обновление видового состава задач в условиях информатизации системы образования. Выполнен анализ видового разнообразия учебных физических задач, представленных в школьных задачниках по физике и цифровых учебных ресурсах.

В [4] рассматриваются педагогические инновации с использованием компьютерных технологий в подготовке учителя.

В рамках реализации ФГОС ОО существенно возрастает роль внеурочной деятельности учащихся. В статье [5] анализируется проблема организации различных форм внеурочной работы по физике, выявляются основные направления совершенствования данной работы. Внеурочная деятельность по физике, в том числе, и в каникулярный период, содержит в себе мощный потенциал. Она не только популяризирует образование, но и осуществляет важные функции: способствует развитию способностей, личностных качеств, формированию интеллектуального потенциала обучаемых; помогая ориентироваться в шкале жизненных ценностей, направлена на выработку целевой установки на высокий результат, адекватное отношение к окружающему миру. При этом необходимо учитывать, что работа в данном направлении должна быть целенаправленной, последовательной и систематичной.

В статье [6] представлены основные характеристики обобщённых проектных умений, отмечена необходимость формирования обобщённых проектных умений современных выпускников инженерного вуза в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Обосновано применение решения задач с целью формирования указанных умений. Представленные этапы выполнения проектов соотнесены с ходом решения задач. Отмечено сходство учебной деятельности при решении задач и выполнении проектов. В статье [6] представлена модель организации образовательного процесса с целью формирования обобщённых проектных умений, содержащая целевой, методический и дидактический блоки. В представленной модели последовательно отражены содержание, методы и средства формирования обобщённых проектных умений студентов инженерного вуза. Отмечены виды деятельности преподавателя и студентов с целью формирования обобщённых проектных умений.

Усвоение теоретического материала по физике осуществляется полнее и прочнее в процессе решения задач, так как в ходе разрешения задачных ситуаций те или иные теоретические знания становятся насущной необходимостью. При этом раскрывается с разных сторон практическая значимость физических знаний, и устанавливаются границы применимости физических теорий. В этой связи, главная цель, поставленная в данной работе, состоит в том, чтобы как можно полнее показать пути использования и способы применения на практике теоретического материала из разделов физики.

Методические особенности построения системы задач по физике рассматривались в работах [7–9].

В [10] обосновывается необходимость приведения в систему знаний по физике, полученных абитуриентами в средней школе. Обобщаются универсальные принципы, позволяющие учащимся выработать полезные навыки в решении задач по физике. Утверждается особая роль математических средств в формировании таких навыков. Обсуждается первостепенное значение корректных формулировок физических законов и разумного выбора абстрактной модели. Подчеркивается эффективность системного подхода к решению физических задач и анализу смысла полученного результата. Без решения физических задач у ученика может не сформироваться адекватное представление о физической задаче, правилах её оформления и решения, о требованиях, предъявляемых к ученику в процессе решения задачи [11].

В статье [12] обоснована необходимость усиления внимания к подбору и решению

графических задач в практике обучения физике в старших классах средней школы. Впервые предложена классификация школьных учебных графических задач по различным основаниям.

В статье [13] представлена модель процесса формирования учебных компетенций обучающихся при решении задач по физике в основной общеобразовательной школе. Анализируются теоретические подходы к созданию модели, а также рассматриваются её структурные элементы: цель, содержание, методические подходы, педагогические условия, методы и формы организации занятий. Описан механизм формирования учебных компетенций, с учётом последовательной реализации совокупности учебных ситуаций: представление ситуации, осмысление ситуации, личная рефлексия, переосмысление ситуации, изменение отношения к ситуации, изменение мотивов деятельности и освоение новых мотивов деятельности. Определены основные компоненты учебных компетенций: теоретический, диагностический, процессуальный, результативно-оценочный, личностный и коммуникационный. Перечислены виды и предложена классификация учебных компетентностно-ориентированных задач в соответствии с их направленностью на формирование компонентов учебных компетенций. Определены критерии формирования учебных компетенций, предложены формы контроля и уровни сформированности учебных компетенций (начальный, средний, высокий). В статье [13] приведены показатели уровней сформированности учебных компетенций в соответствии с выделенными критериями.

В статье [14] рассматривается педагогическая технология, позволяющая решать задачи формирования метапредметных, предметных и личностных результатов учащихся в процессе обучения физике. Определяется соотношение метапредметных и предметных знаний, их взаимосвязь, выстраиваются логические связи между понятиями физики. Для формирования таких уровней усвоения знаний, как узнавание, понимание, воспроизведение учащиеся обучаются индуктивному и дедуктивному анализу незнакомой учебной информации по физике. Предлагаемая технология обучения позволяет выполнить дедуктивный и индуктивный анализ большого объема научной информации за несколько минут. Это даёт возможность уже на первом уроке изучения темы сформировать необходимые уровни усвоения учебной информации, познакомить учащихся с терминологией темы, установить взаимосвязи между понятиями, воспроизвести основную информацию по теме, на изучение которой отводиться несколько десятков часов. У учащихся формируется общее представление о теме, даётся её структура, классификации, выстраиваются связи: объект исследования — средства описания. Анализ незнакомой информации по физике необходим для обучения учащихся самостоятельному планированию учебной деятельности. Данная педагогическая технология позволяет оптимально и эффективно организовать мыслительную деятельность учащихся и студентов, сформировать систему метапредметных и предметных знаний, сформировать познавательную самостоятельность студентов и школьников.

В [15] рассматриваются причины углубления разрыва между школьной физикой и передовым краем науки. Предлагается в качестве метода преодоления этого разрыва проводить с одарёнными школьниками проектные и исследовательские работы. Проведение проектных и исследовательских работ позволяет в определённой мере построить мосты между ограниченными возможностями школьного курса физики и достижениями современной науки и техники.

В работе [16] рассматривается комплексный проблемно-ориентированный подход к решению задач по физике с системным использованием информационных компьютерных технологий, основанный на методике, которая расширяет проблемное поле обучения физике, приближает его содержание к современному уровню научных знаний, позволяет использовать в учебном процессе методологию физики как науки, ориенти-

рует учащихся не только на освоение системы предметных знаний, но и на развитие творчества.

В статье [17] рассматриваются основные подходы к процессу реализации внутрипредметных связей при решении задач разного типа по физике.

Общие методические вопросы решения задач по физике рассматривались в работах [18–24]. Креативные методы и эвристические приёмы решения сложных и нестандартных задач по физике рассматривались в работах [25–30]. Методическому аспекту формирования умений решения задач, развитию логического, предметно-специфического мышления учащихся всегда уделялось серьезное внимание в научных педагогических исследованиях (по физике, прежде всего, следует отметить работы А. В. Усовой [31], Н. Н. Тулькибаевой, А. А. Боброва, Б. Ф. Абросимова, В. К. Кобушкина, С. Е. Коменецкой, В. П. Орехова [18, 20], О. Ф. Кабардина, В. А. Орлова, И. Л. Касаткиной, Г. А. Дзида, Ю. А. Саурова и др.). В работе [31] была предложена структура учебной деятельности по решению физических задач. Разветвлённая система из разноуровневых задач по физике приводится в [32]. Например, методические аспекты системы задач по физике рассматривалась в работе [7]. Компьютерная интерактивная система решения задач по физике рассматривалась в работе [33]. Общие вопросы педагогики в методике преподавания были рассмотрены в [34–37]. Результаты разработки системы олимпиадных задач по физике были описаны в работах [38, 39].

Проведённый обзор литературы по методическим вопросам преподавания методов решения олимпиадных задач по физике показывает актуальность разработки системы олимпиадных задач по физике.

Элементы системы олимпиадных задач по термодинамике

Задачи, обычно предлагаемые для решения при обучении физике в школе, можно условно разделить на группы по содержанию (качественные задачи, расчётные, графические и экспериментальные) и по уровню сложности (тривиальные, среднего уровня сложности и олимпиадные). Поскольку достаточно большой объем физических задач носит характер расчетных и соответствует среднему уровню сложности, то задачи данного типа мы будем называть «традиционными».

Система олимпиадных задач по физике направлена на практическую реализацию одной из приоритетных задач современного школьного образования по физике, которая становится ключевым элементом в процессе обучения физике. При этом важным оказывается не только последовательная реализация стандартных методов углубленной подготовки по физике, но и развитие олимпиадной подготовки учащихся по физике, необходимой не только для успешного поступления в ведущие вузы, но и успешного обучения в вузах и становления будущего специалиста в области физики. Значение работы с одарёнными учащимися трудно переоценить в связи с характерными особенностями в социально-экономическом развитии страны в настоящее время, приводящими к острой необходимости подготовки специалистов самого высокого уровня в области физики.

При создании системы задач по физике из задач, связанных между собой и имеющих несколько уровней сложности, проводят всесторонний анализ учебного материала по физике в рамках выбранных разделов и тем, устанавливают соответствие темам, производят отбор содержания, производят выбор методов и методических приёмов для составления и отбора задач, выполняют техническое создание системы задач по физике в соответствии с предъявляемыми требованиями к уровню олимпиадных заданий.

В самостоятельной части работы разработана система олимпиадных задач по оптике для 11 класса. Произведён подбор и анализ олимпиадных задач по оптике по программе Всероссийской олимпиады школьников по физике для 11 класса. Выполним анализ олимпиадных задач по оптике в одиннадцатом классе общеобразовательной школы.

Задача 1. Какой КПД больше? (Слободянин В.)

Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс A, состоящий из двух изохор и двух изобар. Затем тот же газ совершает аналогичный процесс B (рис. 1). КПД какого процесса больше? Полагая КПД процесса A заданным и равным η_A, вычислите η_B. В обоих процессах $\Delta p_{21} = \Delta p_{32} = \Delta p$ и $\Delta V_{21} = \Delta V_{32} = \Delta V$, но их числовые значения неизвестны.

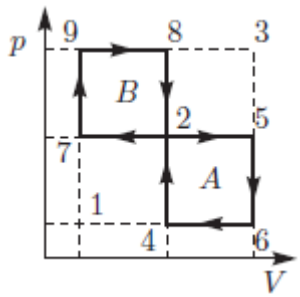


Рис. 1. Цикл.

Решение.

Пусть за цикл газ совершает работу $A_0 = \Delta p \Delta V$. Тогда $\eta_A = A_0/Q_{425}$, где подведённое к газу количество теплоты $Q_{425} = U_{54} + A_{25}$. Аналогично $\eta_B = A_0/Q_{798}$, где $Q_{789} = U_{87} + A_{98}$. Заметим, что $A_{98} = A_{25} + A_0$. Сравним изменения внутренних энергий U_{54} и U_{87}. Выражение для U_{87}:

$$U_{87} = C_V\left(T_8 - T_7\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_3V_2 - p_2V_1\right) = \\ = \frac{C_V}{R}\left(p_2V_2 - p_1V_1 + \Delta p \Delta V\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_2V_2 - p_1V_1 + A_0\right) \ . \quad (1)$$

Аналогичным образом получим, что

$$U_{54} = \frac{C_V}{R}\left(p_2V_3 - p_1V_2\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_2V_2 - p_1V_1 + \Delta p \Delta V\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_2V_2 - p_1V_1 + A_0\right) \ , \quad (2)$$

то есть $U_{54} = U_{87}$. Отсюда

$$\eta_A = \frac{A_0}{Q_{425}} = \frac{A_0}{U_{54} + A_{25}} \ , \quad \eta_B = \frac{A_0}{Q_{789}} = \frac{A_0}{U_{54} + A_{25} + A_0} = \frac{\eta_A}{1 + \eta_A} \ . \quad (3)$$

Отсюда $\eta_B < \eta_A$.

Задача 2. Какой КПД больше? (Слободянин В.)

Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс C, состоящий из двух изохор и двух изобар. Затем тот же газ совершает аналогичный процесс D (рис. 2). КПД какого процесса больше? Полагая КПД процесса C заданным и равным η_C, вычислите η_D. В обоих процессах $\Delta p_{21} = \Delta p_{32} = \Delta p$ и $\Delta V_{21} = \Delta V_{32} = \Delta V$, но их числовые значения неизвестны.

Решение.

Пусть за цикл газ совершает работу $A_0 = \Delta p \Delta V$. Тогда $\eta_C = A_0/Q_{172}$, где подведённое к газу количество теплоты $Q_{172} = U_{12} + A_{72}$. Аналогично $\eta_D = A_0/Q_{283}$, где $Q_{283} = U_{23} + A_{83}$. Заметим, что $A_{83} = A_{72} + A_0$. Сравним изменения внутренних энергий U_{12} и U_{23}. Выражение для U_{12}:

$$U_{12} = C_V\left(T_2 - T_1\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_2V_2 - p_1V_1\right) = \\ = \frac{C_V}{R}\left(p_1\Delta V + V_1\Delta p + \Delta p \Delta V\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_1\Delta V + V_1\Delta p + A_0\right) \ . \quad (4)$$

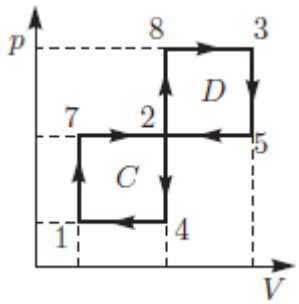


Рис. 2. Цикл.

Аналогичным образом получим, что

$$U_{23} = \frac{C_V}{R}\left(p_3V_3 - p_2V_2\right) = \frac{C_V}{R}\left(p_2\Delta V + V_2\Delta p + A_0\right) = \\ = \frac{C_V}{R}\left(p_1\Delta V + V_1\Delta p + 3A_0\right) = U_{12} + 2\frac{C_V}{R}A_0\ . \quad (5)$$

Отсюда

$$\eta_C = \frac{A_0}{Q_{172}} = \frac{A_0}{U_{12} + A_{72}}\ , \quad (6)$$

$$\eta_D = \frac{A_0}{Q_{283}} = \frac{A_0}{U_{23} + A_{83}} = \frac{A_0}{U_{12} + A_{72} + \frac{2C_V+R}{R}A_0} = \frac{\eta_C}{1 + \frac{C_V+C_p}{R}\eta_C}\ . \quad (7)$$

Отсюда $\eta_D < \eta_C$.

Задача 3. Неидеальный газ (Слободянин В.)

Кривая ABC (рис. 3) является адиабатой для некоторого вещества, у которого внутренняя энергия зависит от произведения pV, то есть $U = U\left(pV\right)$. Найдите полное количество тепла, которое тело получило в процессе 1–2, изображённом на рис. 3.

Решение.

Первый закон термодинамики $\delta Q = pdV + dU$ для процесса 1–2 (рис. 4) приводит к выражению:

$$Q_{12} = \int\limits_{(1)}^{(2)} pdV + U\left(2\right) - U\left(1\right)\ . \quad (8)$$

Интеграл $\int\limits_{(1)}^{(2)} pdV$ равен площади S_1 под графиком процесса 1–2.

Так как U зависит только от pV, то $U = const$ на гиперболах $pV = const$. Проведены гиперболы через точки 1 и 2 и найдены пересечения с кривой адиабаты — точки 1^* и 2^*:

$$U\left(1\right) = U\left(1^*\right)\ , \quad U\left(2\right) = U\left(2^*\right)\ . \quad (9)$$

Для адиабаты $0 = Q_{1^*2^*} = \int\limits_{(1^*)}^{(2^*)} pdV + U\left(2^*\right) - U\left(1^*\right)$ получим

$$U\left(2^*\right) - U\left(1^*\right) = -S_2\ , \quad (10)$$

где S_2 – площадь под графиком адиабаты. Тогда получаем, что $Q_{12} = S_1 - S_2$. Подсчитав площади S_1 и S_2, найдём

$$S_1 = 9.8p_0V_0\ , \quad (11)$$

$$S_2 = \left(7.8 \pm 0.2\right)p_0V_0\ , \quad (12)$$

$$Q_{12} = \left(2.0 \pm 0.2\right)p_0V_0\ . \quad (13)$$

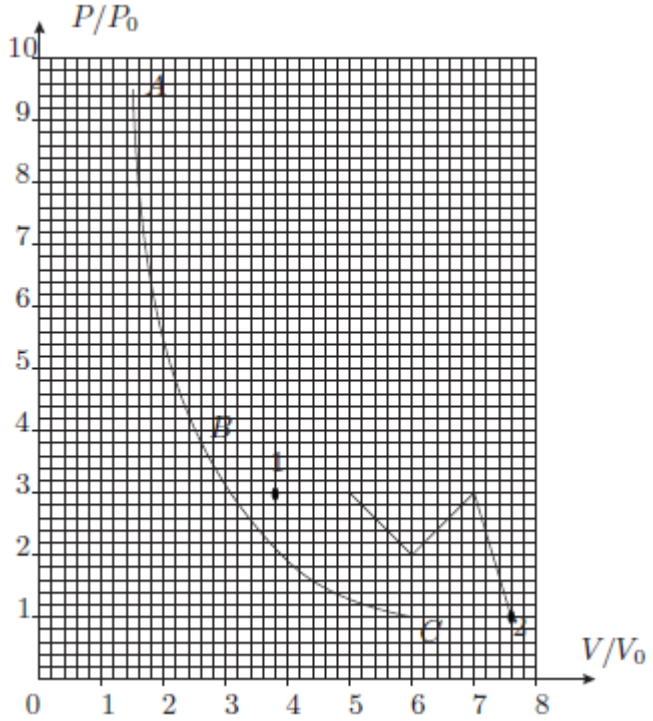


Рис. 3. Термодинамический процесс неидеального газа.

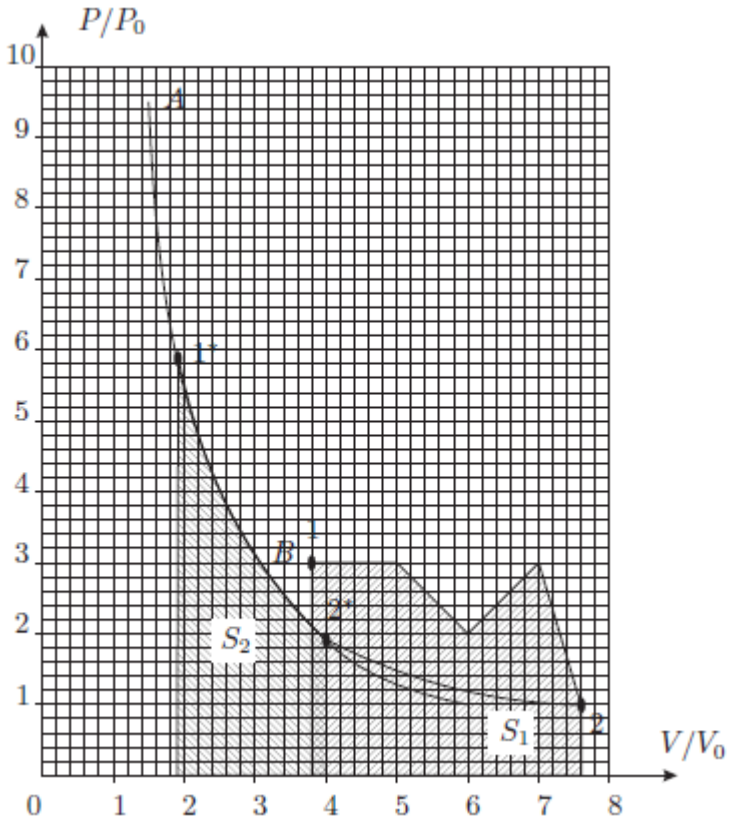


Рис. 4. Термодинамический процесс неидеального газа.

Задача 4. Обрывки рукописи (Шаронов А.)

Говорят, что в архиве лорда Кельвина нашли обрывок рукописи, на котором был изображён замкнутый цикл для $\nu = 1$ моль гелия в координатах pV. Цикл состоял из изотермы 1–2, изохоры 2–3 и адиабаты 3–1. КПД данного цикла $\eta = 0.125$. Масштаб по оси объёма : 1 дел = 0.5 л; по оси давления: 1 дел = $5 \cdot 10^3$ Па. Найдите объём газа в изохорическом процессе. На рис. 5 ось давления вертикальна, а ось объёма горизонтальна.

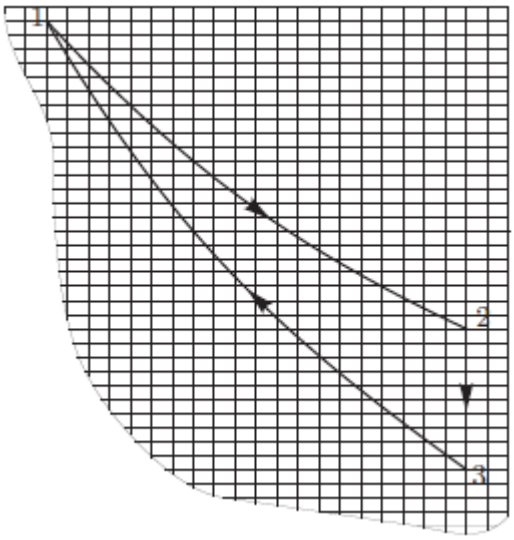


Рис. 5. Термодинамические процессы на обрывке рукописи.

Решение.

По определению КПД цикла равен $\eta = A/Q_+$, где A – работа, совершённая газом за цикл, Q_+ – количество теплоты, отданное нагревателем газу за цикл. для данного цикла $A = A_T + A_V + A_Q = A_T + A_Q$, где A_T, A_V, A_Q – работы, совершённые газом соответственно в изотермическом, изохорическом и адиабатическом процессах. Очевидно, $Q_+ = A_T$. Следовательно, $\eta = A/A_T$. Обратите внимание на то, что количество теплоты, полученное газом от нагревателя численно равно положительной работе, совершённой газом.

$$\eta = \frac{A_T + A_Q}{A_T} = 1 + \frac{A_Q}{A_T} = 1 + \frac{A_Q}{A - A_Q} \ . \tag{14}$$

Работа, совершаемая газом за данный цикл, равна площади, ограниченной линиями 1 – 2 – 3 – 1: $A \approx \left(81 + \frac{1}{2} \cdot 70\right)$ ед. = 116 ед. = 290 Дж (1 ед. = $5 \cdot 10^3$ Па$\cdot 5 \cdot 10^{-4}$м^3 = 2.5 Дж). При этом погрешность численного определения A не более 5 ед.

Работа газа на адиабатическом участке равна с обратным знаком изменению внутренней энергии на участке 3 – 1:

$$A_Q = -\nu C_V \left(T_1 - T_3\right) = -\nu \frac{3}{2} R \left(T_2 - T_3\right) = -\frac{3}{2} V_2 \left(p_2 - p_3\right) \ . \tag{15}$$

Из рис. 5 видно, что $p_2 - p_3 = 5 \cdot 10^4$ Па. Из (14) и (15) получим:

$$V_2 = \frac{2}{3} \frac{(1-\eta)}{\eta} \frac{A}{(p_2 - p_3)} \ . \tag{16}$$

Подсчитываем численное значение $V_2 = (27 \pm 1)$ л.

Задача 5. Цикл.

Экспериментатор Глюк собрал тепловую машину, рабочим телом которой является идеальный одноатомный газ, совершающий циклический процесс 1–2–3–1. В циклическом процессе при работе тепловой машины внутренняя энергия U газа изменяется в зависимости от давления p газа, показанной на рис. 6. Термодинамическому процессу 1–2, показанному на рис. 6, соответствует дуга параболы, отражающая зависимость внутренней энергии от давления по закону $U \sim p^2$, а термодинамическим процессам 2–3 и 3–1 на диаграмме зависимости внутренней энергии от давления газа соответствуют отрезки прямых. а) Постройте график этого циклического процесса в координатах pV. б) Рассчитайте коэффициент полезного действия циклического процесса тепловой машины.

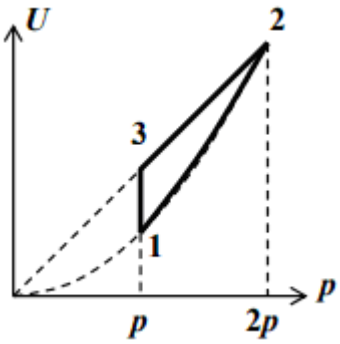


Рис. 6. Цикл на диаграмме зависимости внутренней энергии U от давления p.

Решение.

а) Поскольку рабочим телом является одноатомный идеальный газ, то выражение внутренней энергии для термодинамического процесса 1–2 имеет вид:

$$U = \frac{3}{2}pV \sim p^2 \ , \tag{17}$$

следовательно, $p \sim V$, значит, в координатах V графиком этого термодинамического процесса является прямая, проходящая через начало координат.

Поскольку рабочим телом является одноатомный идеальный газ, то выражение внутренней энергии для термодинамического процесса 2–3 имеет вид:

$$U = \frac{3}{2}pV \sim p \ , \tag{18}$$

следовательно, $V = const$, то есть термодинамический процесс 2–3 является изохорическим процессом.

Для термодинамического процесса 3–1 выполняется равенство $p = const$, то есть термодинамический процесс 3–1 является изобарическим процессом. Теперь можно построить график циклического процесса 1–2–3–1 в координатах V.

б) Коэффициент полезного действия циклического процесса тепловой машины рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{A_{cycle}}{Q_{full}} \ , \tag{19}$$

где Q_{full} – полное количество теплоты.

Работа за один циклический процесс рассчитывается по формуле

$$A_{cycle} = \frac{1}{2}pV \ , \tag{20}$$

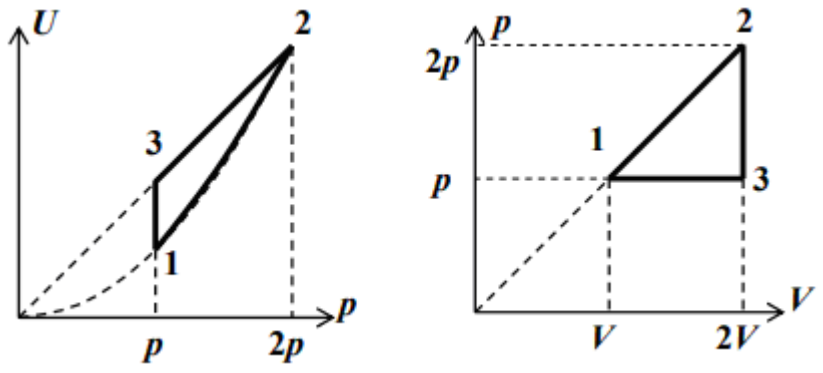


Рис. 7. График циклического процесса 1–2–3–1 в координатах pV.

Газ получает теплоту только в термодинамическом процессе 1–2, поэтому полученное количество теплоты определяется по формуле

$$Q_{full} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2}\left(2p \cdot 2V - pV\right) + \frac{1}{2}\left(p + 2p\right)\left(2V - V\right) = 6pV \ , \qquad (21)$$

следовательно, значение коэффициента полезного действия циклического процесса тепловой машины $\eta = \frac{1}{12} \approx 8.3\,\%$.

Система олимпиадных задач по термодинамике направлена на практическую реализацию одной из приоритетных задач современного школьного образования по физике, заключающуюся в качественной подготовке по физике.

Результаты педагогического эксперимента по внедрению системы олимпиадных задач по физике

Целью педагогического эксперимента было выявление в экспериментальном классе одарённых учеников и дальнейшее развитие творческого потенциала учеников, проявивших склонности к решению олимпиадных задач.

Педагогический эксперимент проводился в 10 В классе из университетских классов ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова» в 2017-2018 учебном году. В 10 В классе реализуется программа физико-математического профиля подготовки. Педагогический эксперимент состоял в выявлении одарённых школьников в экспериментальном классе на основе внедрения методики решения разноуровневых и олимпиадных задач по физике. В начале педагогического эксперимента была проведена краткосрочная контрольная работа по обычным задачам на изучаемую тему, а затем в конце изучения материала текущей главы учебника по физике была проведена полномасштабная контрольная работа по обычным задачам для выявления уровня успеваемости экспериментального класса и отдельных учеников в этом классе.

В расписании физико-математического класса 10 В класса была ещё отдельная учебная дисциплина “Решение олимпиадных задач по физике”. В рамках этой дисциплины проводили контрольную работу по олимпиадным задачам, в которой были предложены пять задач по разным темам.

Обработав все экспериментальные данные контрольных работ по обычным и экспериментальным задачам, получили таблицы по этим данным, а затем построили графики успеваемости школьников по решению вариантов заданий из обычных и олимпиадных задач по физике. Это сделано для возможности сравнения результатов.

В таблице 1 в качестве контрольных работ рассматривались следующие работы: 1) краткосрочная контрольная работа по обычным задачам, 2) полномасштабная кон-

Таблица 1. Результаты проведения контрольных работ по обычным и олимпиадным задачам по физике

Ученики	Контрольные работы		
	1	2	3
Ученик 1	4	4	5
Ученик 2	5	5	4
Ученик 3	5	4	4
Ученик 4	5	4	5
Ученик 5	5	4	5
Ученик 6	5	4	4
Ученик 7	5	3	3
Ученик 8	5	5	5
Ученик 9	4	3	4
Ученик 10	4	3	4
Ученик 11	5	2	3
Ученик 12	5	4	4
Ученик 13	5	4	3
Ученик 14	5	5	5
Ученик 15	3	2	3

трольная работа по обычным задачам, 3) полномасштабная контрольная работа по задачам олимпиадного характера.

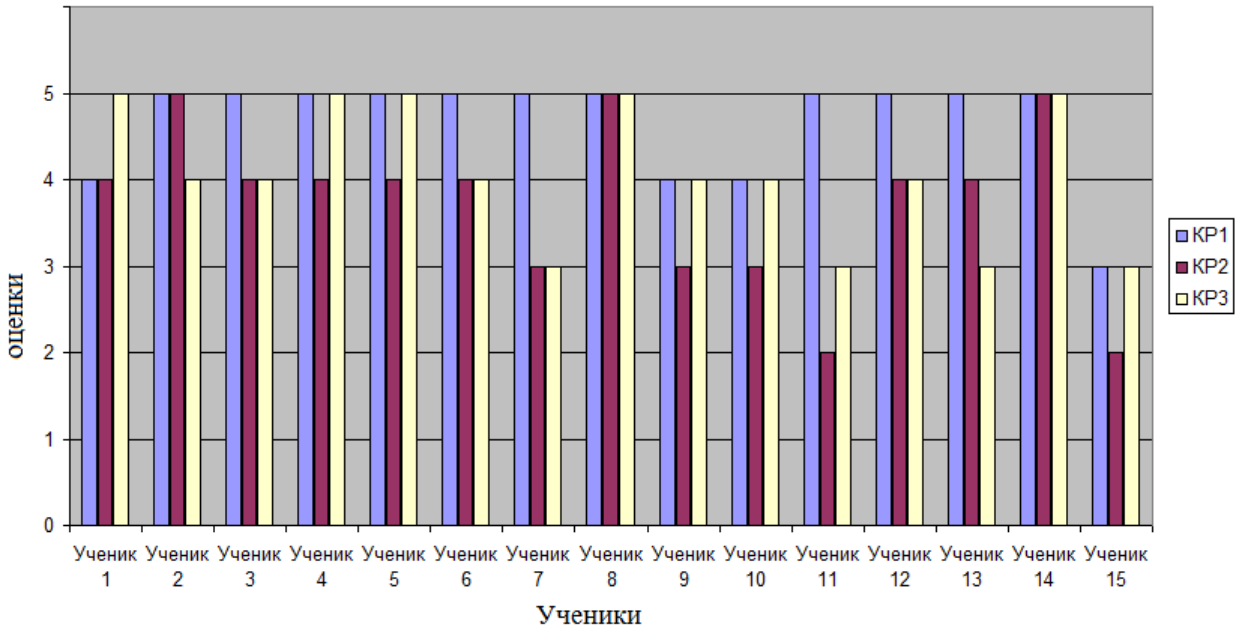


Рис. 8. Гистограмма распределения оценок учеников на контрольных работах, проведённых во время педагогической практики в 10 В классе.

На рис. 8 изображена гистограмма распределения оценок на контрольных работах по ученикам 10 В класса, проведённым во время педагогической практики в 10 В классе.

На рис. 9 изображена гистограмма распределения оценок на контрольной работе 1, проведённой во время педагогической практики в 10 В классе. Контрольная работа 1 была составлена из обычных задач и являлась кратковременной работой. На рис. 10 изображена гистограмма распределения оценок на контрольной работе 2, проведённой

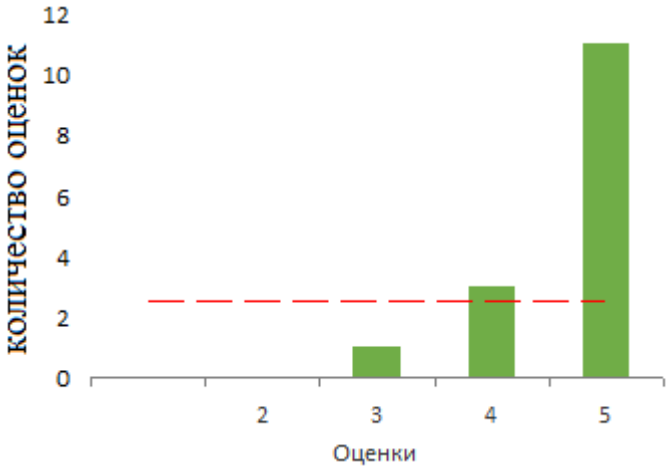


Рис. 9. Гистограмма распределения оценок на контрольной работе 1, проведённой во время педагогической практики в 10 В классе.

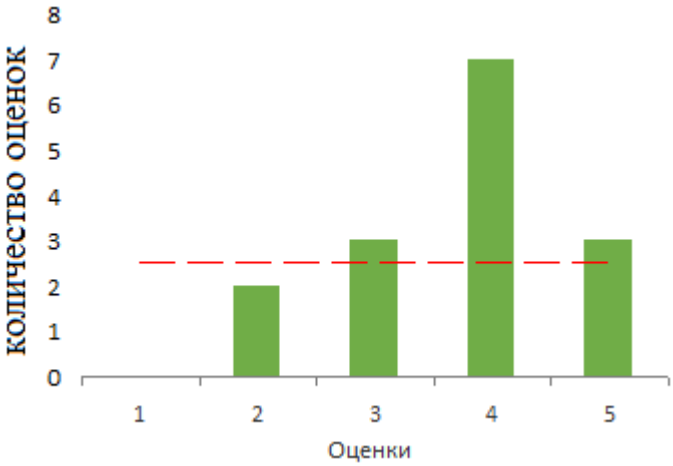


Рис. 10. Гистограмма распределения оценок на контрольной работе 2, проведённой во время педагогической практики в 10 В классе.

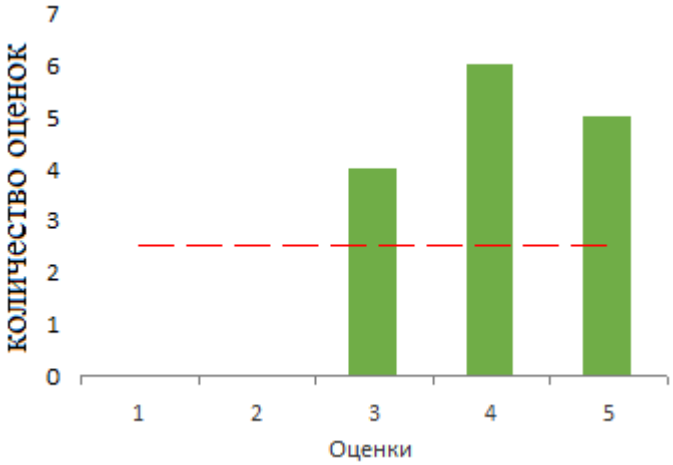


Рис. 11. Гистограмма распределения оценок на контрольной работе 3, проведённой во время педагогической практики в 10 В классе.

во время педагогической практики в 10 В классе. Контрольная работа 2 была составлена из обычных задач и являлась полномасштабной работой. На рис. 11 изображена гистограмма распределения оценок на контрольной работе 3, проведённой во время педагогической практики в 10 В классе. Контрольная работа 3 была составлена из олимпиадных задач и являлась полномасштабной работой.

Таблица 2. Результаты расчёта χ^2 для контрольных работ по обычным и олимпиадным задачам по физике, проведённых во время педагогической практики.

Оценки	**Контрольные работы**		
	1	**2**	**3**
1	0	0	0
2	0	2	0
3	1	3	4
4	3	7	6
5	11	3	5
χ^2	34.9	10.9	13.3

В таблице 2 представлены результаты расчёта χ^2 для контрольных работ по обычным и олимпиадным задачам по физике, проведённых во время педагогической практики. Из таблицы 2 видно, что экспериментальные значения χ^2 больше теоретического значения $\chi^2_t = 11.07$, что свидетельствует о хорошем выполнении гипотезы и достаточном уровне значимости полученных результатов педагогического эксперимента по внедрению системы олимпиадных задач по физике.

Заключение

В процессе выполнения работы была создана система олимпиадных задач по термодинамике, направленная на практическую реализацию одной из задач современного образования по физике, заключающуюся в качественной подготовке учащихся одиннадцатых классов общеобразовательной школы к олимпиадам по физике.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать систему олимпиадных задач по термодинамике в систематически организованной подготовке в традиционной форме в сочетании с использованием информационных технологий, то можно создать эффективную систему подготовки к олимпиадам по физике в общеобразовательной школе, подтверждена полностью.

В рамках теоретической части работы была разработана система олимпиадных задач по физике для одиннадцатого класса. Разработанная система задач по термодинамике на практике показала хорошие результаты при подготовке учащихся к олимпиадам по физике. Это факт служит следствием того, что разработанная система задач по термодинамике для одиннадцатого класса способствует развитию мышления учащихся, их подготовке к участию в олимпиадах и творческих поисках; воспитывает трудолюбие, настойчивость, волю, целеустремлённость и является хорошим средством контроля над знаниями, умениями и навыками. Разработанная система олимпиадных задач по физике позволяет проводить эффективную подготовку к решению олимпиадных задач по физике. Подготовка в традиционной форме, которая организована систематически и планомерно, в сочетании с использованием информационных технологий позволяет организовать эффективную подготовку одарённых учащихся к олимпиадам по физике. Систематическая подготовка по физике, организованная в традиционной форме, в сочетании с использованием информационных компьютерных технологий при изучении термодинамики позволяет организовать эффективную подготовку к олимпиадам по физике.

Список использованных источников

1. Зульфикарова Т. В., Матвеева Л. И. Нестандартные задачи по теме «Законы сохранения» // В сборнике: Современные технологии преподавания естественнонаучных дисциплин в системе общего и профессионального образования сборник материалов Международного научно-практического форума. — Борисоглебский филиал ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», 2016. — С. 94–97.

2. Комнатный Д. В. Учебно-исследовательские задачи для закрепления темы «Законы сохранения в механике» курса общей физики // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. — 2013. — Т. 2, № 2 (8). — С. 93–98.

3. Оспенников А. А., Оспенников Н. А. Виды задач по физике и их разнообразие в традиционных и цифровых учебных пособиях по предмету // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. — 2010. — № 6. — С. 79–89.

4. Трофимова Е. И. Педагогические инновации в подготовке учителя // Высшее образование в России. — 2004. — № 6. — С. 52–59.

5. Краснова Л. А., Нугманова А. С. Особенности внеурочной работы по физике в условиях реализации ФГОС ОО // В сборнике: Проблемы и перспективы информатизации физико-математического образования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — 2016. — С. 319–322.

6. Пак В. В., Мельникова Т. Н., Сотириади Г. Н. Использование учебных задач по физике с целью формирования обобщённых проектных умений // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 6-1. — С. 174–178.

7. Кокин В. А. Система задач по физике // Вестник Поволжской государственной социально-гуманитарной академии. — 2012. — № 7. — С. 272–278.

8. 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. Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова. — 2009. — С. 129–129.

9. 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. — 2011. — С. 176–178.

10. Федоренко И. В. Принципы решения физических задач // Экономические и социально-гуманитарные исследования. — 2017. — № 2 (14). — С. 81–86.

11. Машиньян А. А., Кочергина Н. В. Технологии обучения решению физических задач в условиях современной информационной среды // Мир науки, культуры, образования. — 2017. — № 5 (66). — С. 167–171.

12. Бутырский Г. А. Классификация графических задач по физике и проблемы обучения их решению // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. — 2010. — Т. 3, № 1. — С. 141–146.

13. Сулейманян Е. А. Модель формирования учебных компетенций при решении задач по физике // Ярославский педагогический вестник. — Т. 2, № 1. — С. 138–145.

14. Путина Н. Д. Индуктивный и дедуктивный анализ учебной информации по физике как средство реализации стандарта общего среднего образования // Ярославский педагогический вестник. — 2015. — Т. 2, № 2. — С. 39–44.

15. Рыжиков С. Б. Пути преодоления пропасти между «меловой физикой» и современной наукой // Наука и современность. — 2012. — № 15-3. — С. 92–94.

16. Зеличенко В. М., Ларионов В. В. О проблемно-ориентированном подходе к решению задач по физике в профильной школе и вузе // Вестник Томского государственного педагогического университета. — 2009. — № 5. — С. 10–15.

17. Сторчилов П. А. О проблеме реализации внутрипредметных связей при решении задач по физике // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2. — С. 471–479.

18. Каменецкий С. Е., Орехов В. П. Методика решения задач по физике в средней школе. Пособие для учителей. — Москва : Просвещение, 1971. — 448 с.

19. Каменецкий С. Е., Солодухин Н. А. Модели и аналогии в курсе средней школы: пособие для учителей. — Москва : Просвещение, 1982. — 96 с.

20. Орехов В. П., Усова А. В. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Часть 2. — Москва : Просвещение, 1980. — 350 с.

21. Резников Л. И., Шамаш С. Я., Эвенчик Э. Е. Методика преподавания физики в средней школе : механика : пособие для учителей. — Москва : Просвещение, 1974. — 238 с.

22. Шаповалов А. А. Размышления при решении физических задач. — Барнаул : Издательство БГПУ, 2001. — 150 с.

23. Разумовский В. Г., Браверман Э. М. Урок физики в современной школе (творческий поиск учителя). — Москва : Просвещение, 1993. — 288 с.

24. Елизаров К. Н. Вопросы методики преподавания физики в средней школе : пособие для учителей. — Москва : Учпедгиз, 1962. — 240 с.

25. Абросимов Б. Ф. Способы и методы поиска решения задач: учебно-методическое пособие. — Москва : Экзамен, 2006. — 287 с.

26. Дегтярев С. Н. Креативные методы и эвристические приёмы решения физических задач. — Тюмень : ТОГИРРО, 2009. — 28 с.

27. Красин М. С. Решение сложных и нестандартных задач по физике. Эвристические приёмы поиска решений. — Москва : ИЛЕКСА, 2008. — 360 с.

28. Красин М. С. Система эвристических приёмов решения задач по физике. Теория, методика, примеры: учебно-методическое пособие. — Калуга : Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, 2009. — 147 с. — ISBN: 978-5-88725-176-9.

29. Ильясов И. И. Система эвристических приёмов решения задач. — Москва : Издательство Российского открытого университета, 1992. — 138 с.

30. Козырева Н. А. Педагогическое сопровождение одарённых детей // Успехи современного естествознания. — 2004. — № 5. — С. 55–58.

31. Усова А. В., Бобров А. А. Формирование учебных умений и навыков учащихся на уроках физики. — Москва : Просвещение, 1988. — 111 с.

32. Балаш В. А. Задачи по физике и методы их решения. — Москва : Просвещение, 1983. — 434 с.

33. Лазарев А. Н., Кузько А. Е., Дремов Е. Н. Компьютерная интерактивная система решения задач по физике // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. — 2013. — № 1. — С. 114–121.

34. Бордовская Н. В. Педагогика. — СПб. : Питер, 2000. — 401 с.

35. Латынина Д. Н. История педагогики. Воспитание и образование в России. — Москва : Издательский дом «Форум», 2008. — 315 с.

36. Сластенин В. А. Педагогика. — Москва : Школа-Пресс, 2009. — 512 с.

37. Харламов И. Ф. Педагогика. — Москва : Высшая школа, 2000. — 356 с.

38. Алтунин К. К., Лушникова Ю. О., Назарова Т. В. Электронный курс по олимпиадным задачам по физике // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — 2018. — С. 6–8.

39. Алтунин К. К., Лушникова Ю. О., Назарова Т. В. Электронный курс по олимпиадным задачам по физике // Наука online. — 2018. — № 2 (3). — С. 53–69.

Сведения об авторах:

Татьяна Валерьевна Галоватюк — учитель физики и математики МБОУ г. Ульяновска «Средняя школы № 85», 432066, Ульяновск, Россия.

E-mail: nazarowa.tanja@yandex.ru

ORCID iD 0000-0003-4222-067X

Web of Science ResearcherID AAZ-8100-2020

Pedagogical design of the system of Olympiad tasks in thermodynamics at school

T. V. Galovatyuk

MBOU Ulyanovsk "Secondary School No. 85", 432066 Ulyanovsk, Russia,

Submitted September 5, 2021
Resubmitted September 12, 2021
Published December 10, 2021

Abstract. The process of pedagogical design of the system of Olympiad problems in thermodynamics in a comprehensive school is considered. A system of tasks and assignments in optics has been developed to prepare students of the eleventh grade of acomprehensive school for physics olympiads. The analysis of various problems of the Olympiad type in thermodynamics was carried out. Solutions of Olympiad-type problems in thermodynamics are described. The created methodological materials on olympiad problems in thermodynamics can be used in the process of creating a new methodology for teaching methods for solving olympiad problems within the framework of full-time bachelor's and full-time master's programs in the pedagogical direction of preparing a physical and mathematical profile at a pedagogical university, replenishing the scientific base with relevant methodological materials on teaching methods and ways of solving Olympiad problems in physics in the senior grades of a comprehensive school.

Keywords: physics, thermodynamics, physical education, problems in physics, student training system, system of problems in physics, problem solving methods

PACS: 01.40.-d

References

1. Zulfikarova T. V., Matveeva L. I. Non-standard tasks on the topic "Conservation laws" // In the collection: Modern technologies for teaching natural sciences in the system of general and professional education, collection of materials of the International Scientific and Practical Forum. — Borisoglebsk Branch of FSBEI HE "Voronezh State University", 2016. — P. 94–97.

2. Room D. B. Educational and research tasks to consolidate the topic "Conservation laws in mechanics" of the course of general physics // Emergencies: education and science. — 2013. — Vol. 2, no. 2(8). — P. 93–98.

3. Ospennikov A. A., Ospennikov N. A. Types of problems in physics and their variety in traditional and digital textbooks in the subject // Bulletin of the Perm State Humanitarian and Pedagogical University. Series: Information and computer technologies in education. — 2010. — no. 6. — P. 79–89.

4. Trofimova E. I. Pedagogical Innovation in Teacher Training // Higher education in Russia. — 2004. — no. 6. — P. 52–59.

5. Krasnova L. A., Nugmanova A. S. Features of extracurricular work in physics in the context of the implementation of GEF OO // In the proceedings: Problems and prospects of informatization of physical and mathematical education. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — 2016. — P. 319–322.

6. Pak V. V., Melnikova T. N., Sotiriadi G. N. Use of learning tasks in physics in order to form generalized design skills // Modern high technologies. — 2016. — no. 6-1. — P. 174–178.

7. Kokin V. A. System of problems in physics // Bulletin of the Volga State Social and Humanitarian Academy. — 2012. — no. 7. — P. 272–278.

8. Mashinyan A. A., Kochergina N. V. Technologies for teaching solving physical problems in a modern information environment // World of science, culture, education. — 2017. — no. 5 (66). — P. 167–171.

9. Ryzhikov C. B. Ways to bridge the gap between “chalk physics” and modern science // Science and modernity. — 2012. — no. 15-3. — P. 92–94.

10. Storchilov P. A. On the problem of implementing intra-subject communications when solving problems in physics // Modern problems of science and education. — 2015. — no. 2. — P. 471–479.

11. Butyrsky G. A. Classification of graphic problems in physics and problems of learning to solve them // Bulletin of the Vyatka State University for the Humanities. — 2010. — Vol. 3, no. 1. — P. 141–146.

12. Putin N. D. Inductive and deductive analysis of educational information in physics as a means of implementing the standard of general secondary education // Yaroslavl Pedagogical Bulletin. — 2015. — Vol. 2, no. 2. — P. 39–44.

13. Suleimanyan E. A. Model for the formation of educational competencies in solving problems in physics // Yaroslavl Pedagogical Bulletin. — Vol. 2, no. 1. — P. 138–145.

14. Kokin V. A., Makarov I. The need to apply a system of qualitative and experimental problems in physics in a specialized school // In the collection: Formation of educational skills Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — Ulyanovsk: Ulyanovsk State Pedagogical University., 2009. — P. 129–129.

15. Kokin V. A. The system of tasks in extracurricular activities to develop the cognitive interest and creativity of school students (on the example of a circle) // In the proceedings: Science education. Past present Future. Materials of the All-Russian Correspondence Internet Conference. — 2011. — P. 176–178.

16. Fedorenko I. V. Principles for solving physical problems // Economic and social-humanitarian research. — 2017. — no. 2(14). — P. 81–86.

17. Zelichenko V. M., Larionov V. V. About a problem-oriented approach to solving problems in physics at a specialized school and university // Bulletin of the Tomsk State Pedagogical University. — 2009. — no. 5. — P. 10–15.

18. Kamenetsky S. E., Orekhov V. P. Methodology for solving problems in physics in high school. Teacher’s Guide. — Moscow : Education, 1971. — 448 p.

19. Kamenetsky S. E., Solodukhin N. A. Models and Analogies in High School Course: A Manual for Teachers. — Moscow : Education, 1982. — 96 p.

20. Usova A. V., Bobrov A. A. Formation of educational abilities and skills of students in physics lessons. — Moscow : Education, 1988. — 111 p.

21. Orekhov V. P., Usova A. V. Methods of teaching physics in grades 8-10 of secondary school. Part 2. — Moscow : Education, 1980. — 350 p.

22. Reznikov L. I., Shamash S. Ya., Evenchik E. E. Methods of teaching physics in high school: mechanics: a manual for teachers. — Moscow : Education, 1974. — 238 p.

23. Shapovalov A. A. Reflections when solving physics problems. — Barnaul : BSPU Publishing House, 2001. — 150 p.

24. Razumovsky V. G., Braverman E. M. A physics lesson in a modern school (creative search for a teacher). — Moscow : Education, 1993. — 288 p.

25. Elizarov K. N. Questions of methods of teaching physics in secondary school: a guide for teachers. — Moscow, publisher = Uchpedgiz, year = 1962, numpages = 240, language = english.

26. Abrosimov B. F. Methods and methods of finding solutions to problems: teaching aid. — Moscow : Exam, 2006. — 287 p.

27. Degtyarev S. N. Creative Methods and Heuristic Techniques for Solving Physics Problems. — Tyumen : TOGIRRO, 2009. — 28 p.

28. Krasin M. S. Solution of complex and non-standard problems in physics. Heuristic techniques for finding solutions. — Moscow : ILEXA, 2008. — 360 p.

29. Krasin M. S. System of heuristic methods for solving problems in physics. Theory, methodology, examples: study guide. — Kaluga : Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky, 2009. — 147 p.

30. Ilyasov I. I. A system of heuristic methods for solving problems. — Moscow : Publishing House of the Russian Open University, 1992. — 138 p.

31. Kozyreva N. A. Pedagogical support for gifted children // Achievements of modern natural science. — 2004. — no. 5. — P. 55–58.

32. Bordovskaya N. V. Pedagogy. — Saint Petersburg : Peter, 2000. — 401 p.

33. Latynina D. N. History of Pedagogy. Upbringing and education in Russia. — Moscow : Publishing house “Forum”, 2008. — 315 p.

34. Slastenin V. A. Pedagogy. — Moscow : School-Press, 2009. — 512 p.

35. Kharlamov I. F. Pedagogy. — Moscow : High School, 2000. — 356 p.

36. Balash V. A. Problems in physics and methods of solving them. — Moscow : Education, 1983. — 434 p.

37. Lazarev A. N., Kuzko A. E., Dremov E. N. Computer interactive system for solving problems in physics // Bulletin of the Southwestern State University. Series: Linguistics and Pedagogy. — 2013. — no. 1. — P. 114–121.

38. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O., Nazarova T. V. Electronic course on Olympiad problems in physics // In the proceedings: Topical issues of teaching technical disciplines. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — 2018. — P. 6–8.

39. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O., Nazarova T. V. Electronic course on Olympiad problems in physics // Science online: electronic scientific journal. — 2018. — no. 2 (3). — P. 53–69.

Information about authors:

Tatiana Valerievna Galovatyuk — teacher of physics and mathematics at MBOU Ulyanovsk "Secondary School No. 85", 432066, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: nazarowa.tanja@yandex.ru

ORCID iD 0000-0003-4222-067X

Web of Science ResearcherID AAZ-8100-2020

УДК 372.8
ББК 74.489
ГРНТИ 14.35.09
ВАК 13.00.02

Результаты преподавания дисциплин по выбору из блока специальных дисциплин физико-технической направленности в педагогическом университете

К. К. Алтунин [1]

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

Поступила в редакцию 17 ноября 2021 года
После переработки 24 ноября 2021 года
Опубликована 10 декабря 2021 года

Аннотация. Обсуждаются результаты преподавания блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете. Одно из направлений вариативного блока специальных дисциплин физико-технической направленности включает в себя учебные дисциплины: “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий”. Описаны результаты преподавания учебных дисциплин “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” из блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете. Описаны результаты использования рейтинговой системы оценки знаний по учебным дисциплинам: “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий”. В результате проведения педагогического эксперимента показано, что степень обученности студентов по учебным дисциплинам “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” соответствует оптимальному уровню обученности студентов.

Ключевые слова: преподавание физико-технических дисциплин, методика преподавания физико-технических дисциплин, нанофизика, нанооптика, оптика наноструктур, оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий

PACS: 01.40.-d

Введение

На педагогическом направлении подготовки с профилем по физике и математике одно из трёх направлений вариативного блока специальных учебных дисциплин физико-технической направленности включает в себя учебные дисциплины: “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий”.

[1] E-mail: kostya_altunin@mail.ru

В рамках вариативного модуля дисциплин ведётся преподавание блока специальных дисциплин физико-технической направленности, который включает в себя учебные дисциплины: “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий”.

Целью исследования являются разработка и научное обоснование методики преподавания блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете.

В связи с поставленной целью была сформулирована задача проведения педагогического эксперимента по апробации методики преподавания блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете.

Объектом исследования являются процесс преподавания блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете.

Предметом исследования является процесс формирования физических понятий в рамках преподавания блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете.

Гипотеза исследования заключается в том, что процесс преподавания ориентирован на формирование у студентов умения использовать фундаментальные законы сохранения в блоке специальных дисциплин физико-технической направленности, и будет более результативным при организации систематического контроля знаний по блоку специальных дисциплин физико-технической направленности.

Научная новизна работы заключается в сочетании традиционных и дистанционных технологий при изучении физических понятий и законов в блоке специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете.

В качестве методов исследования применяются методические приёмы и способы решения физических задач в рамках блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что созданные методические материалы по учебным дисциплинам блока специальных дисциплин физико-технической направленности могут быть использованы в создании новой методологии обучения физико-техническим дисциплинам в педагогическом университете, пополнении научной базы актуальными методическими материалами по преподаванию специальных дисциплин физико-технической направленности, систематизации и анализе научно-методических данных по теории и методике преподавания физико-технических дисциплин в университетах.

Практическая значимость исследования заключается в выявлении характерных особенностей преподавания специальных дисциплин физико-технической направленности в педагогическом университете, которые могут быть использованы в качестве основных материалов на занятиях по учебным дисциплинам: “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий”.

Обзор

Современные тестовые технологии являются эффективным инструментом для диагностики теоретических знаний студентов. Основы теории композиции тестовых заданий рассматривались в [1]. Особенности разработки систем тестирования в электронных

учебниках описаны в [2]. Основы теории моделирования и параметризации педагогических тестов описаны в [3]. В работе [4] описана организация входного, текущего и итогового контроля при помощи дидактического тестирования с помощью предметных тестов достижений. Модель педагогической системы обучения электродинамики в школе описана в [5].

В работе [6] представлен результат разработки обучающих тестов по механике и электродинамике с выбором ответа и с введением числового ответа для использования в аудиторной и внеаудиторной работе студентов.

В работах [7, 8] описаны результаты разработки тестовых заданий по основным разделам физики, предназначенные для контроля самостоятельной работы и проверки остаточных знаний студентов. Отмечено, что метод тестового контроля с выборочными ответами является весьма эффективным инструментом для оперативного контроля знаний с применением компьютерных технологий.

В работе [9] приведено обоснование эффективности применения экспериментальных исследований физических явлений на основе специализированных сетевых учебно-исследовательских аппаратно-программных комплексов в образовательном процессе, организованного по традиционной форме обучения и в системе дистанционного образования.

В статье [10] производится анализ результатов разработки информационного сопровождения курса по нанооптике. Разработанные элементы в виде интерактивной презентации с тестовым заданием могут служить примером для разработки тестовых заданий в виде интерактивной презентации по общей и экспериментальной физике.

Проведённый анализ литературы показывает актуальность модернизации преподавания учебных дисциплин физико-технической направленности.

Результаты педагогического эксперимента

В период с сентября по ноябрь 2020 года осуществлялось преподавание учебной дисциплины “Квантовая оптика наноструктур” на пятом курсе в подгруппе ФМ-16-02. Преподавание учебной дисциплины “Квантовая оптика наноструктур” осуществлялось в рамках дисциплин по выбору в подгруппе ФМ-16-02. Трудоёмкость учебной дисциплины “Квантовая оптика наноструктур” составляла три зачётные единицы или 108 часов общей нагрузки. Подгруппа ФМ-16-02 состояла из шести человек. Аудиторные занятия по учебной дисциплине “Квантовая оптика наноструктур” состоят из девяти лекций и пятнадцати лабораторных занятий. В результате изучения учебной дисциплины “Квантовая оптика наноструктур” по учебной успеваемости были получены следующие результаты: 4 студента получили отметку “отлично”, 1 студент получил отметку “хорошо”, 1 студент получили отметку “удовлетворительно”. Средний балл по учебной дисциплине “Квантовая оптика наноструктур” составил 273 балла из 300 максимально возможных баллов. Степень обученности студентов по учебной дисциплине “Квантовая оптика наноструктур” составила 83.3 %, что соответствует оптимальному уровню обученности студентов.

В период с февраля по апрель 2021 года осуществлялось преподавание учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” на пятом курсе в подгруппе ФМ-16-02. Преподавание учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” осуществлялось в рамках дисциплин по выбору в подгруппе ФМ-16-02. Трудоёмкость учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составляла три зачётные единицы или 108 часов общей нагрузки. Подгруппа ФМ-16-02 состояла из шести человек. Аудиторные занятия по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” состоят из девяти лекций и пятнадцати лабораторных занятий. В результате изучения учебной дисциплины

“Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” по учебной успеваемости были получены следующие результаты: 5 студентов получили отметку “отлично”, 1 студент получили отметку “удовлетворительно”. Средний балл по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составил 276 баллов из 300 максимально возможных баллов. Степень обученности студентов по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составила 89.3 %, что соответствует оптимальному уровню обученности студентов.

В период с марта по май 2021 года осуществлялось преподавание учебной дисциплины “Нанооптика” на четвёртом курсе в подгруппе ФМ-17-01. Преподавание учебной дисциплины “Нанооптика” осуществлялось в рамках дисциплин по выбору в подгруппе ФМ-17-01. Трудоёмкость учебной дисциплины “Нанооптика” составляла три зачётные единицы или 108 часов общей нагрузки. Подгруппа ФМ-17-01 состояла из шести человек. Аудиторные занятия по учебной дисциплине “Нанооптика” состоят из девяти лекций и пятнадцати лабораторных занятий. В результате изучения учебной дисциплины “Нанооптика” по учебной успеваемости были получены следующие результаты: 4 студента получили отметку “отлично”, 2 студента получили отметку “удовлетворительно”. Средний балл по учебной дисциплине “Нанооптика” составил 252 балла из 300 максимально возможных баллов. Степень обученности студентов по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составила 78.7 %, что соответствует оптимальному уровню обученности студентов.

На занятиях по учебным дисциплинам “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” в смешанной форме использовались дистанционные курсы и электронные образовательные ресурсы в виде сайтов с теоретическими материалами и материалами для осуществления планомерного и систематического контроля знаний. Для этого в составе дистанционных курсов по блоку специальных дисциплин физико-технической направленности разработаны тесты по отдельным темам и контрольные тесты по всему курсу.

В результате проведения педагогического эксперимента по модернизации преподавания учебных дисциплин физико-технической направленности показано, что степень обученности студентов по учебным дисциплинам “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” соответствует оптимальному уровню обученности студентов.

Заключение

Для повышения качества обучения на занятиях по дисциплинам блока специальных дисциплин физико-технической направленности использовались различные компьютерные технологии такие, как решение физических задач с использованием элементов программирования для решения различных физических задач и описания физических явлений, использование электронных образовательных ресурсов, образовательных сайтов, дистанционных курсов, онлайн курсов для информационной поддержки изучения блока специальных дисциплин физико-технической направленности. Использование электронных образовательных ресурсов, образовательных сайтов и дистанционных курсов позволяет в онлайн режиме изучать как простые, так и сложные для понимания закономерности физических явлений.

Описаны результаты преподавания учебных дисциплин “Нанооптика”, “Квантовая оптика наноструктур”, “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” из блока специальных дисциплин физико-технической направленности на педагогических направлениях подготовки физико-математического профиля подготовки в педагогическом университете. В результате проведения педагогического эксперимента показано, что степень обученности студентов по учебным дисциплинам “Нанооптика”, “Кванто-

вая оптика наноструктур", "Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий" соответствует оптимальному уровню обученности студентов. На успешность проведения педагогического эксперимента по преподаванию линейки дисциплин по выбору физико-технической направленности повлияло наличие необходимых технических средств обучения. Для воспроизведения визуальной информации и презентаций по учебным дисциплинам по выбору физико-технической направленности в аудиториях имеется проекционная аппаратура: мультимедиа-проектор, компьютер и экран.

Гипотеза исследования, заключающаяся в том, что процесс преподавания ориентирован на формирование у студентов умения использовать фундаментальные законы сохранения в блоке специальных дисциплин физико-технической направленности, и будет более результативным при организации систематического контроля знаний по блоку специальных дисциплин физико-технической направленности, подтверждена полностью.

Четверо из шести студентов подгруппы ФМ-16-02 после завершения обучения в бакалавриате поступили в очную магистратуру факультета физико-математического и технологического образования.

Использование электронных образовательных ресурсов, образовательных сайтов и дистанционных курсов по блоку специальных дисциплин физико-технической направленности позволяет также осуществлять планомерный и систематический контроль знаний с использованием методов тестового контроля. Для этого в составе дистанционных курсов по блоку специальных дисциплин физико-технической направленности разработаны тесты по отдельным темам и контрольные тесты по всему курсу.

Список использованных источников

1. Аванесов В. С. Композиция тестовых заданий. — Москва : Ассоциация инженеров-педагогов города Москвы, 1996. — 191 с.

2. Деревнина А. Ю., Семикин В. А., Кошелев М. Б. Системы тестирования в электронных учебниках // Информационные технологии. — 2002. — № 5. — С. 39–44.

3. Нейман Ю. М., Хлебников В. М. Введение в теорию моделирования и параметризацию педагогических тестов. — Москва : Высшая школа, 2000. — 169 с.

4. Сафонцев С. А. Тестовая диагностика в образовательном процессе // Школьные технологии. — 2006. — № 1. — С. 147–157.

5. Альтшулер Ю. Б., Червова А. А. Модель педагогической системы обучения электродинамики в школе // Наука и школа. — 2008. — № 3. — С. 15–17.

6. Грищенко И. В., Пинегина Т. Ю. Обучающие тесты по физике. Часть 1. Механика. Электродинамика. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2010. — 97 с.

7. Николаев И. Н. Тестовые задания для самостоятельной работы студентов по физике // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов. Наука и образование. — 2015. — № 10 (77). — С. 107–107.

8. Николаев И. Н. Тестовые задания для самостоятельной работы студентов по физике // Навигатор в мире науки и образования. — 2017. — № 2 (35). — С. 104–104.

9. Изучение физических эффектов с использованием дистанционных технологий / А. В. Сарафанов [и др.] // Информатизация образования и науки. — 2012. — № 4 (16). — С. 49–63.

10. Алтунин К. К. Разработка информационного сопровождения изучения темы, посвящённой изучению приближения эффективной среды в курсе нанооптики // Наука online. — 2018. — № 3 (4). — С. 80–94.

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

The results of teaching disciplines of choice from the block of special disciplines of physical and technical orientation at the Pedagogical University

K. K. Altunin

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 17, 2021
Resubmitted November 24, 2021
Published December 10, 2021

Abstract. The results of teaching a block of special disciplines of physical and technical orientation in the pedagogical areas of training in the physical and mathematical profile of training at the Pedagogical University are discussed. One of the directions of the variable block of special disciplines of physical and technical orientation includes the academic disciplines: "Nanooptics", "Quantum optics of nanostructures", "Optics of thin-layer and nanostructured coatings". The results of teaching academic disciplines "Nanooptics", "Quantum optics of nanostructures", "Optics of thin-layer and nanostructured coatings" from the block of special disciplines of physical and technical orientation in the pedagogical areas of preparation of the physical and mathematical profile of training at the Pedagogical University are described. The results of using a rating system for assessing knowledge in academic disciplines: "Nanooptics", "Quantum optics of nanostructures", "Optics of thin-layer and nanostructured coatings" are described. As a result of the pedagogical experiment, it was shown that the degree of students' training in the academic disciplines "Nanooptics", "Quantum optics of nanostructures", "Optics of thin-layer and nanostructured coatings" corresponds to the optimal level of students' training.

Keywords: teaching of physical and technical disciplines, methods of teaching physical and technical disciplines, nanophysics, nanooptics, optics of nanostructures, optics of thin-layer and nanostructured coatings

PACS: 01.40.-d

References

1. Avanesov V. S. Composition of test items. — Moscow : Association of Educational Engineers of the City of Moscow, 1996. — 191 p.

2. Derevnina A. Yu., Semikin V. A., Koshelev M. B. Testing systems in electronic textbooks // Information Technology. — 2002. — no. 5. — P. 39–44.

3. Neiman Yu. M., Khlebnikov V. M. Introduction to the theory of modeling and parameterization of pedagogical tests. — Moscow : High School, 2000. — 169 p.

4. Safontsev S. A. Test diagnostics in the educational process // School technology. — 2006. — no. 1. — P. 147–157.

5. Altshuler Yu. B., Chervova A. A. Model of a pedagogical system of teaching electrodynamics at school // Science and School. — 2008. — no. 3. — P. 15–17.

6. Grishchenko I. V., Pinegina T. Yu. Teaching tests in physics. Part 1. Mechanics. Electrodynamics. — Novosibirsk : Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 2010. — 97 p.

7. Nikolaev I. N. Test assignments for independent work of students in physics // Chronicles of the United Electronic Resources Fund. Science and education. — 2015. — no. 10 (77). — P. 107–107.

8. Nikolaev I. N. Test assignments for independent work of students in physics // Navigator in the world of science and education. — 2017. — no. 2 (35). — P. 104–104.

9. Study of physical effects using distance technology / A. V. Sarafanov [et al.] // Informatization of education and science. — 2012. — no. 4 (16). — P. 49–63.

10. Altunin K. K. Development of information support for the study of a topic devoted to the study of the approximation of an effective environment in the course of nanooptics // Science online. — 2018. — no. 3 (4). — P. 80–94.

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

Секция 2

Физико-математические науки

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Исследование оптического пропускания и отражения нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами

К. К. Алтунин, Е. В. Александрова [1]

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

Поступила в редакцию 7 июня 2021 года
После переработки 12 октября 2021 года
Опубликована 10 декабря 2021 года

Аннотация. Рассматриваются физические особенности оптических процессов в нанокомпозитных структурах с металлическими наночастицами. Проведены численные расчёты пропускательной и отражательной способностей нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами, находящихся во внешнем поле оптического излучения. Для вычисления оптических характеристик составлена компьютерная программа на языке программирования Python, которая позволяет строить графики зависимостей отражательной и пропускательной способностей нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами от длины волны внешнего оптического излучения. Получены зависимости энергетических коэффициентов оптического пропускания и отражения нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами от длины волны излучения в оптическом диапазоне длин волн при различных значениях параметров нанокомпозитных структур. Показано, что можно эффективно управлять величиной оптического пропускания оптического излучения путём изменения параметров нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами.

Ключевые слова: нанокомпозит, нанокомпозитная плёнка, наноматериал, оптическое излучение, коэффициент оптического пропускания, коэффициент оптического отражения, просветляющее оптическое покрытие, оптические приборы

PACS: 42.25.Bs

[1] E-mail: el0al@yandex.ru

Введение

Работа посвящена теоретическому исследованию оптических процессов в нанокомпозитных структурах с металлическими наночастицами.

Полимерные нанокомпозиты являются важной категорией наноматериалов, которые демонстрируют отличные физико-химические свойства, недоступные для отдельных компонентов, действующих в одиночку. Эти нанокомпозиты в последнее время вызывают интенсивный исследовательский интерес в связи с их многообещающим потенциалом для широкого спектра применений в экологической реабилитации и решении различных экологических проблем.

Целью работы является исследование оптических свойств нанокомпозитных структур с наночастицами, находящихся во внешнем поле оптического излучения.

В работе поставлены следующие задачи:

1. написание обзора работ по нанокомпозитным структурам,
2. разработка теоретической модели процессов оптического пропускания и отражения от нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами,
3. проведение численных расчётов оптических характеристик оптического пропускания и отражения от нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами.

Объектом исследования являются нанокомпозитные структуры.

Предметом исследования являются оптические свойства плёночных нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами.

Гипотеза исследования заключается в том, что если провести численные расчёты характеристик оптического пропускания и отражения от однослойных и двухслойных нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами, то можно прогнозировать поведение нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами в составе более сложных структур в наноразмерных оптоэлектронных приборах.

Методами исследования являются теоретические и численные методы классической, нелинейной и квантовой нанооптики, численные методы для решения задач теоретической нанооптики, методы программирования для задач теоретической нанооптики.

Обзор работ по свойствам нанокомпозитных структур

Полимерный нанокомпозит — это композит, в котором объединяется полимерная матрица (которая может быть термореактивной или термопластичной) с каким-либо наноматериалом. В соответствии с обычными полимерными композитами, могут также быть включены некоторые другие формы обычного армирования волокном (например, углеродные волокна). Ряд наноматериалов демонстрирует исключительные и уникальные свойства — например, прочность, жёсткость, электрическая и теплопроводность — когда они присутствуют в наноформе. В области нанотехнологий одним из самых популярных направлений текущих исследований и разработок являются полимерные нанокомпозиты, а область исследований охватывает широкий круг тем. Сюда входят наноэлектроника, полимерные бионаноматериалы, армированный полимерный нанокомпозит, системы доставки лекарств на основе нанокомпозитов. Согласно теоретическим предположениям, идея полимерного нанокомпозитного материала основана на концепции создания очень большой границы раздела между наноразмерными неоднородностями и макромолекулами чистого полимера. Предполагается, что большая граница

раздела между наночастицами и макромолекулами приводит к необычным свойствам по сравнению с обычными микронаполненными полимерными композитами. В нанокомпозитах большое усиление и улучшение других свойств, таких как пониженная воспламеняемость и повышенная проводимость, часто достигаются при низкой концентрации нанонаполнителей. Однако эти эффекты сильно зависят от однородного распределения нанодобавки в полимерной матрице, чего трудно добиться.

Полимерные нанокомпозиты как основа нанотехнологии вызвали большой научный интерес и нашли широкое применение от игрушек до самолётов. По определению, полимерные нанокомпозиты — это полимеры, армированные наноматериалами в качестве нанонаполнителей. В полимерных нанокомпозитах наиболее важной темой, которую следует рассматривать, является диспергирование нанонаполнителей в массивной полимерной матрице. Однородное распределение нанонаполнителей приводит к улучшению свойств получаемых полимерных нанокомпозитов. Но склонность наноматериалов к агломерации из-за сильных ван-дер-ваальсовых сил между частицами приводит к ухудшению свойств полимерных нанокомпозитов. В настоящее время хорошо установлено, что для лучшего диспергирования наноматериалов в полимерных матрицах наноматериалы могут быть модифицированы и функционализированы. Модификация поверхности и функционализация наноматериалов улучшают межфазное взаимодействие или совместимость между полимерной матрицей и наполнителем, что приводит к лучшему диспергированию для разработки высокоэффективных нанокомпозитов для передовых приложений. О полимерных нанокомпозитах более подробно описано в [1].

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 проницаемостями и магнитной проницаемостями в ответ на воздействие электрических и магнитных полей. Область исследования наноматериалов развивается, в частности, из-за интереса для потенциальных применений в поисках идеальной линзы [2], устройствах с замедлением света [3], наноматериалах с отрицательным диэлектрической проницаемостью и магнитной проницаемостью [4], наноматериалах с отрицательным показателем преломления [5]. Известен эффект усиления действующего электромагнитного поля вблизи поверхности металлических наночастиц [6], 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.

В настоящее время повышенный интерес вызывают композитные материалы, включая металл–полимерные нанокомпозитные материалы, содержащие наночастицы благородных металлов, добавленных в полимерную матрицу. Этот интерес обусловлен их необычными физическими свойствами. Нанокомпозитные материалы могут применяться в обеспечении оптической невидимости, в конструировании новых оптоэлектронных приборов для обнаружения слабых световых потоков, а также в солнечной энергетике. Нанокомпозитные материалы могут применяться в широком диапазоне технологических применений, таких как цветные покрытия [7], солнечные батареи [8], разнообразные датчики [9, 10], наноструктурные покрытия с металлическими нанокластерами [11], фотокатализ [12–14], и нелинейная оптика наноструктурных систем [8, 15, 16]. Интенсивное оптическое излучение нанокомпозитов, содержащих включения из наночастиц благородных металлов, возникают из-за поверхностного плазмонного резонанса в металлической фазе [17]. Важное направление современной физики в изучении наноматериалов связано с конструированием различных наноструктур из наноматериалов с

разными диэлектрическими и магнитными проницаемостями.

В статье [18] говорится о индуцированной размерности изменения топологического порядка в мультиферроичных оксидных сверхрешётках.

В статье [19] разработано широкополосное удержание сильного света на границе раздела металлов по всему солнечному спектру. Используя спектроскопию потерь энергии электронов, доказано, что в этой системе горячие носители генерируются широкополосным способом в пределах 10 нм.

В статье [20] показано, что спектральное закрепление нескольких мод приводит к тому, что для системы получается почти монохроматический, но в то же время многомодовый отклик. Также наблюдается связь этих мод с квазинулевой модой Берремана для диэлектрической проницаемости, поддерживаемой тонким материалом с квазинулевой диэлектрической проницаемостью.

В статье [21] предлагается управляемое нейронной сетью решение, которое позволяет осуществлять точное и эффективное сканирование, обработку данных и идентификацию образцов экспериментально значимых двумерных материалов.

В статье [22] обнаружено, что эти металлические решётки из платины с беспрецедентно большим отношением площади поверхности к объему демонстрируют положительное магнитосопротивление при низких температурах, изменяющееся с положительного на отрицательное в слабых магнитных полях в узком температурном окне при повышении температуры.

В статье [23] суммируются основные принципы, связанные с ними новые физические эффекты, фундаментальные принципы реализации фотонных систем на основе наноматериалов с квазинулевой диэлектрической проницаемостью и интегрированные приложения фотоники на основе наноматериалов с квазинулевой диэлектрической проницаемостью.

Интерференционные эффекты в нанокомпозитных плёнках рассматривались в работе [24]. Некоторые из новых наноматериалов с квазинулевым показателем преломления [25] и наноматериалов с сильно отрицательными значениями комплексного показателя преломления [24] могут быть использованы в наноразмерных оптоэлектронных устройствах с управлением при помощи излучения оптического диапазона. Эффект идеального оптического просветления в нанокомпозитах рассматривался в [26].

Чтобы понять изменения свойств полимерной матрицы, важно распознать поведение макромолекул в присутствии наночастиц или нановолокон, что важно для оптимизации свойств нанокомпозита и расширения границ улучшения свойств. Наноразмерные добавки могут изменять механические свойства, барьерные свойства, огнестойкость, электрические и оптические свойства, а также термические свойства.

Рассмотрим основные модели в приближении эффективной среды для наноструктурных материалов. Для твердотельных наноструктурных сред используются три основные модели гомогенизации в приближении эффективной среды. Этими тремя моделями являются следующие модели: модель Максвелл-Гарнетта, симметричная модель Бруггемана, асимметричная модель Бруггемана.

Модель Максвелл-Гарнетта для наноструктурного материала в приближении эффективной среды основана на формуле эффективной диэлектрической проницаемости

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_m \left(\frac{1 + 2f\left(\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m}\right)}{1 - f\left(\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m}\right)} \right) , \tag{1}$$

где ε_{eff} – эффективная диэлектрическая проницаемость среды, ε_i – диэлектрическая проницаемость наноразмерных включений, ε_m – диэлектрическая проницаемость ма-

териала матрицы наноструктурной среды, f – фактор заполнения наноструктурной среды наноразмерными включениями.

Симметричная модель Бруггемана для наноструктурного материала в приближении эффективной среды основана на формуле эффективной диэлектрической проницаемости

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{1}{4}\Bigg(3f\left(\varepsilon_i - \varepsilon_m\right) + 2\varepsilon_m - \varepsilon_i + \\ + \sqrt{\left(1-3f\right)^2\varepsilon_i^2 + 2\left(2+9f-9f^2\right)\varepsilon_i\varepsilon_m + \left(3f-2\right)^2\varepsilon_m^2}\Bigg) . \quad (2)$$

Асимметричная модель Бруггемана для наноматериала в приближении эффективной среды основана на формуле эффективной диэлектрической проницаемости

$$\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{\text{eff}}}{\varepsilon_i - \varepsilon_m} = (1-f)\left(\frac{\varepsilon_{\text{eff}}}{\varepsilon_m}\right)^{\frac{1}{A}} , \quad (3)$$

где $A = 0.5$ для наноразмерных включений в виде дисков, $A = 0.33$ для наноразмерных включений в виде сфер.

Для одного из типичных наноразмерных включений в виде сферических наночастиц золота диэлектрическая проницаемость включений имеет вид [27]:

$$\varepsilon_i = 1 - \frac{\omega_{pf}}{\omega\left(\omega + i\gamma_f\right)} + \frac{\omega_{pf}^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega\gamma_b} , \quad (4)$$

где $\omega_{pf} = 1.3 \cdot 10^{16}$ Гц, $\gamma_f = 2.65 \cdot 10^{14}$ Гц, $\gamma_b = 2.4 \cdot 10^{14}$ Гц, $\omega_0 = 7.0 \cdot 10^{15}$ Гц, $\omega_{pf} = 1.3 \cdot 10^{16}$ Гц. Проведённый анализ научной литературы по оптическим свойствам нанокомпозитных структур показал актуальность направления исследования оптических свойств нанокомпозитных структур, включая однослойные и двухслойные плёночные нанокомпозитные структуры.

Теоретическая модель оптических процессов в нанокомпозитных структурах с металлическими наночастицами

Вычислим коэффициенты оптического отражения и пропускания нанокомпозитной плёнки. Амплитудные коэффициенты Френеля для оптического отражения от одной границы раздела сред вычисляются для s-поляризации по формулам [28]:

$$r_{01}^s = \frac{n_0\cos\theta_0 - n_1\cos\theta_1}{n_0\cos\theta_0 + n_1\cos\theta_1} , \quad (5)$$

$$r_{12}^s = \frac{n_1\cos\theta_1 - n_2\cos\theta_2}{n_1\cos\theta_1 + n_2\cos\theta_2} , \quad (6)$$

где n_0 – показатель преломления среды 0, n_1 – показатель преломления среды 1, θ_0 – угол падения внешнего оптического излучения, θ_1 – угол преломления внешнего оптического излучения в среде 1, θ_2 – угол преломления внешнего оптического излучения в среде 2.

Амплитудные коэффициенты Френеля для оптического пропускания от одной границы раздела сред вычисляются для s-поляризации по формулам

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

$$t_{12}^s = \frac{2n_1\cos\theta_1}{n_1\cos\theta_1 + n_2\cos\theta_2} . \quad (8)$$

Амплитудные коэффициенты Френеля для оптического отражения от одной границы раздела сред вычисляются для p-поляризации по формулам

$$r_{01}^p = \frac{n_0/\cos\theta_0 - n_1/\cos\theta_1}{n_0/\cos\theta_0 + n_1/\cos\theta_1} \ , \tag{9}$$

$$r_{12}^p = \frac{n_1/\cos\theta_1 - n_2/\cos\theta_2}{n_1/\cos\theta_1 + n_2/\cos\theta_2} \ , \tag{10}$$

где n_0 – показатель преломления среды 0, n_1 – показатель преломления среды 1, θ_0 – угол падения внешнего оптического излучения, θ_1 – угол преломления внешнего оптического излучения в среде 1, θ_2 – угол преломления внешнего оптического излучения в среде 2.

Амплитудные коэффициенты Френеля для оптического пропускания от одной границы раздела сред вычисляются для p-поляризации по формулам

$$t_{01}^p = \frac{2n_0/\cos\theta_0}{n_0/\cos\theta_0 + n_1/\cos\theta_1} \ , \tag{11}$$

$$t_{12}^p = \frac{2n_1/\cos\theta_1}{n_1/\cos\theta_1 + n_2/\cos\theta_2} \ . \tag{12}$$

Для нанокомпозитной плёнки амплитудные коэффициенты оптического отражения и пропускания вычисляются для s-поляризации по формулам:

$$r_1^s = \frac{r_{01}^s + r_{12}^s \exp\{(i2\phi_1)\}}{1 + r_{01}^s r_{12}^s \exp\{(i2\phi_1)\}} \ , \tag{13}$$

$$t_1^s = \frac{t_{01}^s t_{12}^s \exp\{(i\phi_1)\}}{1 + r_{01}^s r_{12}^s \exp\{(i2\phi_1)\}} \ . \tag{14}$$

где $\phi_1 = k_0 n_1 d_1 \cos\theta_1$.

Для нанокомпозитной плёнки амплитудные коэффициенты оптического отражения и пропускания вычисляются для p-поляризации по формулам:

$$r_1^p = \frac{r_{01}^p + r_{12}^p \exp\{(i2\phi_1)\}}{1 + r_{01}^p r_{12}^p \exp\{(i2\phi_1)\}} \ , \tag{15}$$

$$t_1^p = \frac{t_{01}^p t_{12}^p \exp\{(i\phi_1)\}}{1 + r_{01}^p r_{12}^p \exp\{(i2\phi_1)\}} \ . \tag{16}$$

где $\phi_1 = k_0 n_1 d_1 \cos\theta_1$.

Для нанокомпозитной плёнки энергетические коэффициенты оптического отражения и пропускания вычисляются для s-поляризации по формулам:

$$R_1^s = |r_1^s|^2 \ , \tag{17}$$

$$T_1^s = \frac{n_2 \cos\theta_2}{n_0 \cos\theta_0} |t_1^s|^2 \ . \tag{18}$$

Для нанокомпозитной плёнки энергетические коэффициенты оптического отражения и пропускания вычисляются для p-поляризации по формулам:

$$R_1^p = |r_1^p|^2 \ , \tag{19}$$

$$T_1^p = \frac{n_2 \cos\theta_0}{n_0 \cos\theta_2} |t_1^p|^2 \ . \tag{20}$$

Для нанокомпозитной плёнки энергетические коэффициенты оптического отражения и пропускания вычисляются для неполяризованного света по формулам:

$$R_1 = \frac{1}{2}\left(R_1^s + R_1^p\right) \ , \tag{21}$$

$$T_1 = \frac{1}{2}\left(T_1^s + T_1^p\right) \ . \tag{22}$$

Рассмотрим рекуррентный метод для вычисления коэффициентов оптического отражения и пропускания многослойных нанокомпозитных структур. Для описания распространения оптического излучения в настоящее время широко используется оптическое приближение. При прохождении оптическим излучением среды в ней может формироваться канал оптической прозрачности или зона просветления. Такие зоны могут быть использованы для оптической связи.

Рекуррентный метод для вычисления коэффициентов оптического отражения и пропускания для многослойных нанокомпозитных структур основан на введении амплитудного коэффициента отражения, который вычисляется по рекуррентной формуле:

$$r_j = \frac{r_j^F + r_{j+1}\exp\{(i2\zeta_{j+1}d_{j+1})\}}{1 + r_j^F r_{j+1}\exp\{(i2\zeta_{j+1}d_{j+1})\}} \ , \tag{23}$$

которая продолжается до

$$r_{n+1} = 0 \ , \tag{24}$$

где $j = 0, 1, 2, \ldots, n$. Амплитудный коэффициент Френеля для оптического отражения равен

$$r_j^F = \frac{\zeta_j - \zeta_{j+1}}{\zeta_j + \zeta_{j+1}} \ , \tag{25}$$

$$\zeta_j = k_0\sqrt{\varepsilon_j - \varepsilon_0\cos^2\theta_0} \ , \tag{26}$$

где d_j – толщина j-го слоя, k_0 – волновой вектор оптической волны в вакууме, θ_0 – угол падения внешнего оптического излучения, ζ_j – компонента волнового вектора падающей оптической волны в j-ом слое нанокомпозитной структуры, ε_j – диэлектрическая проницаемость материала j-го слоя, n – число слоёв в многослойной нанокомпозитной структуре. Вычисление коэффициентов отражения начинается с нижнего слоя (подложки) и заканчивается на внешней среде ($j = 0$).

Можно также применять рекуррентный метод Власова для вычисления коэффициентов оптического отражения и пропускания многослойных нанокомпозитных структур. Рассмотрим рекуррентный метод Власова для вычисления коэффициентов оптического отражения и пропускания многослойных нанокомпозитных структур. В методе Власова коэффициенты отражения и пропускания вычисляются по формулам:

$$R_{j+1} = \frac{r_{j+1} + r_j X_{j+1}}{1 + r_{j+1} r_j X_{j+1}} \ , \tag{27}$$

$$T_{j+1} = \frac{t_{j+1} t_j X_{j+1}^{\frac{1}{2}}}{1 + r_{j+1} r_j X_{j+1}} \ , \tag{28}$$

где фазовая толщина j-го слоя равна $X_j = \exp\left\{\left(i2k_0 d_j\sqrt{n_j^2 - n_0^2\sin^2\theta_0}\right)\right\}$. Введены r_{j+1} и t_{j+1} - коэффициенты Френеля $j+1$ слоя относительно среды 0.

Стартовыми значениями для организации рекуррентного процесса являются

$$r_0 = \frac{R_0 - r_1}{1 - r_1 R_0} \ , \tag{29}$$

$$t_0 = T_0\frac{(1 + r_1 r_0)}{t_1} \ , \tag{30}$$

Вычисление коэффициентов оптического отражения и пропускания по методу Власова для однослойной структуры даёт формулы:

$$R_1 = \frac{r_1 + r_0 X_1}{1 + r_1 r_0 X_1} \ , \tag{31}$$

$$T_1 = T_0 \frac{\left(1 - r_1 R_0 + r_1 \left(R_0 - r_1\right)\right) X_1^{\frac{1}{2}}}{1 - r_1 R_0 + r_1 \left(R_0 - r_1\right) X_1} \ . \tag{32}$$

Для произвольного числа наноструктурных слоёв в нанокомпозитной структуре пригодны для s-поляризации и p-поляризации с соответствующими коэффициентами Френеля следующие формулы:

$$R_{j+1} = \frac{r_{j+1}\left(1 - r_{j+1} R_j\right) + \left(R_j - r_{j+1}\right) X_{j+1}}{1 - r_{j+1} R_j + r_{j+1}\left(R_j - r_{j+1}\right) X_{j+1}} \ , \tag{33}$$

$$T_{j+1} = T_j \frac{1 - r_{j+1} R_j + r_{j+1}\left(R_j - r_{j+1}\right) X_{j+1}^{\frac{1}{2}}}{1 - r_{j+1} R_j + r_{j+1}\left(R_j - r_{j+1}\right) X_{j+1}} \tag{34}$$

с граничными условиями

$$R_0 = r_{02} = \frac{r_{01} + r_{12}}{1 + r_{01} r_{12}} \ , \tag{35}$$

$$T_0 = \frac{t_1 t_0}{1 + r_0 r_1} \ . \tag{36}$$

Рассмотрим рекуррентный метод Парата для вычисления коэффициентов оптического отражения и пропускания многослойных нанокомпозитных структур. Введём обозначения:

$$g_{jm} = \exp\{(i s_{jm} d_m)\} \ , \tag{37}$$

$$\overline{g}_{jm} = g_{jm}^{-1} = \exp\{(-i s_{jm} d_m)\} \ , \tag{38}$$

$q_m = 1$, $b_{jm} = s_{jm}$ для s-поляризованного оптического излучения, $q_m = s_{jm}/n_{jm}$, $b_{jm} = n_{jm}$ для p-поляризованного оптического излучения.

Величины $R_{jm} = E_{jm}^{-}/E_{jm}^{+}$ имеют смысл “парциальных” амплитудных коэффициентов отражения. Рекуррентное соотношение Парата, которое выражает коэффициент R_{jm} в m-м слое через величину $R_{j,m+1}$ в нижнем слое с номером $m+1$:

$$R_{jm} = \frac{\left(r_{jm,m+1} + R_{j,m+1}\right) g_{jm}^2}{1 + r_{jm,m+1} R_{j,m+1}} \ , \tag{39}$$

где

$$r_{jm,n} = \frac{p\left(s_{jm} - s_{jn}\sigma_{jm,n}^2\right)}{s_{jm} + s_{jn}\sigma_{jm,n}^2} \ , \tag{40}$$

$p = 1$, $\sigma_{jm,n} = 1$ для s-поляризованного оптического излучения, $p = -1$, $\sigma_{jm,n} = n_{jm}/n_{jn}$ для p-поляризованного оптического излучения. Здесь $r_{jm,n}$ – формула Френеля для коэффициента отражения излучения с частотой ω_j от границы раздела двух полубесконечных сред с показателями преломления n_{jm} и n_{jm}.

Коэффициенты пропускания T_m находятся с помощью рекуррентного соотношения

$$T_m = \frac{r_{m,m-1} + T_{m-1} g_{m-1}^2}{1 + r_{m,m-1} T_{m-1} g_{m-1}^2} \ , \tag{41}$$

которое решается “сверху – вниз” с граничным условием $T_0 = 0$.

Найдём коэффициенты отражения для двухслойной нанокомпозитной структуры на подложке. Оптическое излучение падает из среды 0. Первый слой нанокомпозитной структуры имеет эффективный показатель преломления n_1 и толщину d_1. Второй слой нанокомпозитной структуры имеет эффективный показатель преломления n_2 и толщину d_2. подложка имеет эффективный показатель преломления n_3.

Вычисление амплитудных коэффициентов по методу Власова даёт следующие формулы:

$$r_{03} = \frac{r_{01} + r_{13}\exp\left(-i2\phi_1\right)}{1 + r_{01}r_{13}\exp\left(-i2\phi_1\right)} \ , \tag{42}$$

$$t_{03} = \frac{t_{01}t_{13}\exp\left(-i\phi_1\right)}{1 + r_{01}r_{13}\exp\left(-i2\phi_1\right)} \ , \tag{43}$$

где фазовая толщина первого слоя $\phi_1 = k_0 n_1 d_1 \cos\theta_1$.

$$r_{13} = \frac{r_{12} + r_{23}\exp\left(-i2\phi_2\right)}{1 + r_{12}r_{23}\exp\left(-i2\phi_2\right)} \ , \tag{44}$$

$$t_{13} = \frac{t_{12}t_{23}\exp\left(-i\phi_2\right)}{1 + r_{12}r_{23}\exp\left(-i2\phi_2\right)} \ , \tag{45}$$

где фазовая толщина второго слоя $\phi_2 = k_0 n_2 d_2 \cos\theta_2$.

Для одной границы раздела коэффициенты вычисляются по формулам:

$$r_{01}^s = \frac{n_0\cos\theta_0 - n_1\cos\theta_1}{n_0\cos\theta_0 + n_1\cos\theta_1} \ , \tag{46}$$

$$r_{12}^s = \frac{n_1\cos\theta_1 - n_2\cos\theta_2}{n_1\cos\theta_1 + n_2\cos\theta_2} \ , \tag{47}$$

$$r_{13}^s = \frac{n_1\cos\theta_1 - n_3\cos\theta_3}{n_1\cos\theta_1 + n_3\cos\theta_3} \ , \tag{48}$$

$$r_{23}^s = \frac{n_2\cos\theta_2 - n_3\cos\theta_3}{n_2\cos\theta_2 + n_3\cos\theta_3} \ . \tag{49}$$

Углы преломления вычисляется по формулам:

$$\theta_1 = \arcsin\left(n_0\sin\theta_0/n_1\right) \ , \tag{50}$$

$$\theta_2 = \arcsin\left(n_0\sin\theta_0/n_2\right) \ , \tag{51}$$

$$\theta_3 = \arcsin\left(n_0\sin\theta_0/n_3\right) \ . \tag{52}$$

Энергетические коэффициенты оптического отражения и пропускания двухслойной структуры на подложке для s-поляризованной волны вычисляются по формулам:

$$R_2^s = \left|r_{03}^s\right|^2 \ , \tag{53}$$

$$T_2^s = \frac{n_3\cos\theta_3}{n_0\cos\theta_0}\left|t_{03}^s\right|^2 \ . \tag{54}$$

Энергетические коэффициенты оптического отражения и пропускания двухслойной структуры на подложке для p-поляризованной волны вычисляются по формулам:

$$R_2^p = \left|r_{03}^p\right|^2 \ , \tag{55}$$

$$T_2^p = \frac{n_3\cos\theta_0}{n_0\cos\theta_3}\left|t_{03}^p\right|^2 \ . \tag{56}$$

Для двухслойной нанокомпозитной структуры энергетические коэффициенты отражения и пропускания вычисляются для неполяризованного света по формулам:

$$R_2 = \frac{1}{2}\left(R_2^s + R_2^p\right) \ , \tag{57}$$

$$T_2 = \frac{1}{2}\left(T_2^s + T_2^p\right) \ . \tag{58}$$

Рассмотрим модель нанокомпозитной структуры в приближении эффективной среды. Произведём описание нанокомпозитной структуры для двух нанокомпозитных сред в приближении эффективной среды. Эффективная диэлектрическая проницаемость первой нанокомпозитной среды находится по формуле Максвелл-Гарнетта:

$$\varepsilon_1(\omega) = \varepsilon_1^m(\omega)\left(1 + \frac{f_1\left(\varepsilon_1^p(\omega) - \varepsilon_1^m(\omega)\right)}{\varepsilon_1^m + g_1\left(1 - f_1\right)\left(\varepsilon_1^p(\omega) - \varepsilon_1^m(\omega)\right)}\right) \ , \tag{59}$$

где f_1 – фактор заполнения первой нанокомпозитной среды металлическими наночастицами, g_1 – деполяризующий фактор системы наноразмерных включений в первой нанокомпозитной среде, ε_1^p – диэлектрическая проницаемость наноразмерных включений в виде металлических наночастиц, ε_1^m – диэлектрическая проницаемость материала матрицы первой нанокомпозитной среды.

Эффективная диэлектрическая проницаемость второй нанокомпозитной среды находится по формуле Максвелл-Гарнетта:

$$\varepsilon_2(\omega) = \varepsilon_2^m(\omega)\left(1 + \frac{f_2\left(\varepsilon_2^p(\omega) - \varepsilon_2^m(\omega)\right)}{\varepsilon_2^m + g_2\left(1 - f_2\right)\left(\varepsilon_2^p(\omega) - \varepsilon_2^m(\omega)\right)}\right) \ , \tag{60}$$

где f_2 – фактор заполнения второй нанокомпозитной среды металлическими наночастицами, g_2 – деполяризующий фактор системы наноразмерных включений во второй нанокомпозитной среде, ε_2^p – диэлектрическая проницаемость наноразмерных включений в виде металлических наночастиц, ε_2^m – диэлектрическая проницаемость материала матрицы второй нанокомпозитной среды.

Диэлектрическая проницаемость материала матрицы нанокомпозитной среды находится по формуле:

$$\varepsilon_1^m(\lambda) = \varepsilon_1^{PMMA}(\lambda) = 1 + \frac{1.1819\lambda^2}{\lambda^2 - 0.011313} \ , \tag{61}$$

где длина волны подставляется в микрометрах.

Диэлектрическая проницаемость материала наноразмерных включений в виде наночастиц серебра сферической формы находится по формуле:

$$\varepsilon_1^p(\omega) = \varepsilon_{\infty 1} - \frac{\omega_p^2}{\omega\left(\omega + i\gamma_{e1}\right)} \ , \tag{62}$$

где циклическая частота излучения $\omega = 2\pi c/\lambda$. Коэффициент затухания находится по формуле

$$\gamma_{e1} = \gamma_{01} + \left(0.71 + \left(1 - f_1\right)0.31\right)\frac{v_{F1}}{a_1} \ , \tag{63}$$

для серебра скорость Ферми равна $v_F = 1.39 \cdot 10^6$ м/с. Для объёмного серебра известны следующие параметры: $\varepsilon_{\infty 1} = 4.1$, $\omega_p = 1.33 \cdot 10^{16}\,\text{с}^{-1}$, $\gamma_{01} = 7.7 \cdot 10^{13}\,\text{с}^{-1}$.

Разработка компьютерной программы и результаты компьютерного моделирования оптического пропускания и отражения нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами

Приведём результаты численных расчётов оптического пропускания однослойной нанокомпозитной плёнки с металлическими наночастицами на подложке из стекла. В работе составлена компьютерная программа для расчёта оптического пропускания нанокомпозитной структуры с металлическими наночастицами.

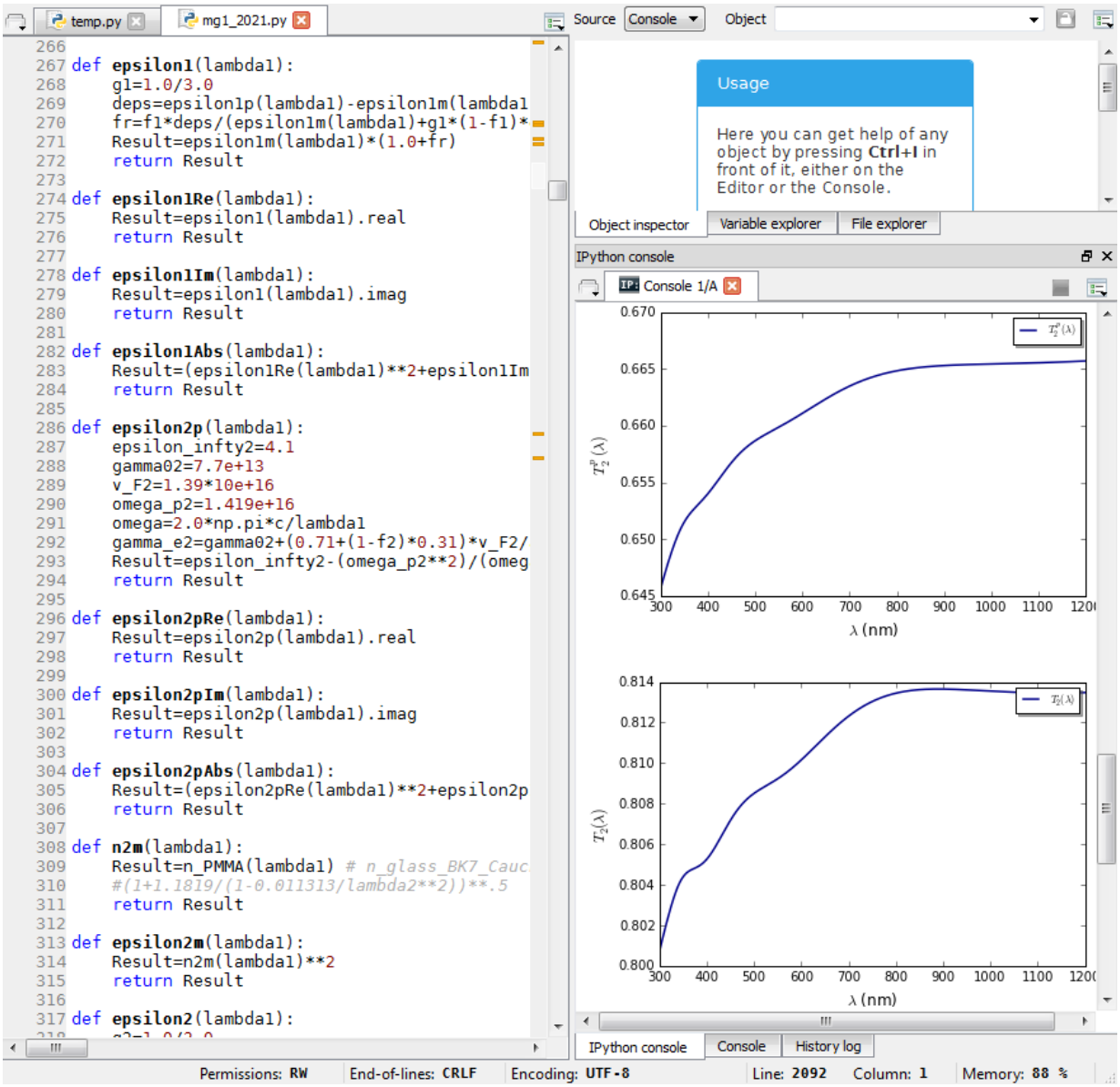


Рис. 1. Первая часть программы на языке программирования Python для расчёта оптического пропускания и отражения от нанокомпозитной плёнки с металлическими наночастицами.

На рис. 1 изображена первая часть программы на языке программирования Python для расчёта оптического пропускания нанокомпозитной плёнки с металлическими наночастицами.

Рассмотрим результаты численных расчётов оптического пропускания однослойной нанокомпозитной плёнки с металлическими наночастицами, расположенной на подложке из стекла BK7.

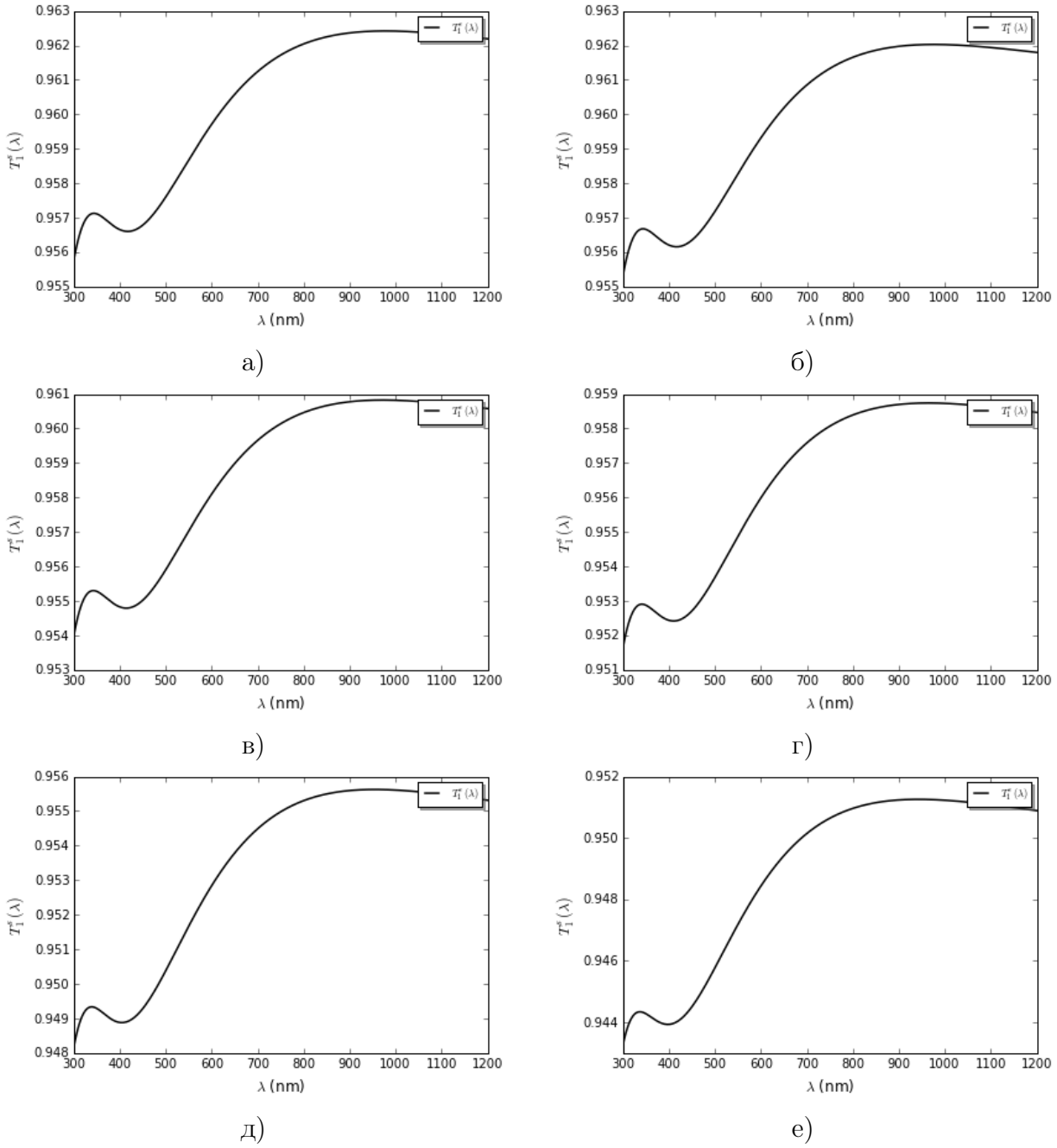


Рис. 2. Зависимость энергетического коэффициента пропускания от длины волны оптического излучения для случая падения s-поляризованной оптической волны из воздуха на нанокомпозитную плёнку толщиной $d_1 = 150$ нм из полиметилметакрилата с наночастицами серебра с радиусом $a_1 = 2.5$ нм, фактором заполнения $f_1 = 2.5\,\%$, расположенную на подложке из стекла BK7 при угле падения излучения а) $\theta_0 = 0\,^\circ$, б) $\theta_0 = 5\,^\circ$, в) $\theta_0 = 10\,^\circ$, г) $\theta_0 = 15\,^\circ$, д) $\theta_0 = 20\,^\circ$, е) $\theta_0 = 25\,^\circ$.

На рис. 2 изображена зависимость энергетического коэффициента пропускания от длины волны оптического излучения для случая падения s-поляризованной оптической волны из воздуха на нанокомпозитную плёнку толщиной $d_1 = 150$ нм из полиметилметакрилата с наночастицами серебра с радиусом $a_1 = 2.5$ нм, фактором заполнения $f_1 = 2.5\,\%$, расположенную на подложке из стекла BK7 при угле падения излучения а) $\theta_0 = 0\,^\circ$, б) $\theta_0 = 5\,^\circ$, в) $\theta_0 = 10\,^\circ$, г) $\theta_0 = 15\,^\circ$, д) $\theta_0 = 20\,^\circ$, е) $\theta_0 = 25\,^\circ$. Из графиков видно, что нанокомпозитная плёнка обладает высоким пропусканием в широком диапазоне оптических длин волн.

При помощи разработанной компьютерной программы получены результаты численных расчётов оптического пропускания нанокомпозитной структуры из двух плёнок с металлическими наночастицами на подложке из стекла. Рассмотрим результаты численных расчётов оптического пропускания нанокомпозитной структуры из двух плёнок с металлическими наночастицами, расположенной на подложке из стекла BK7.

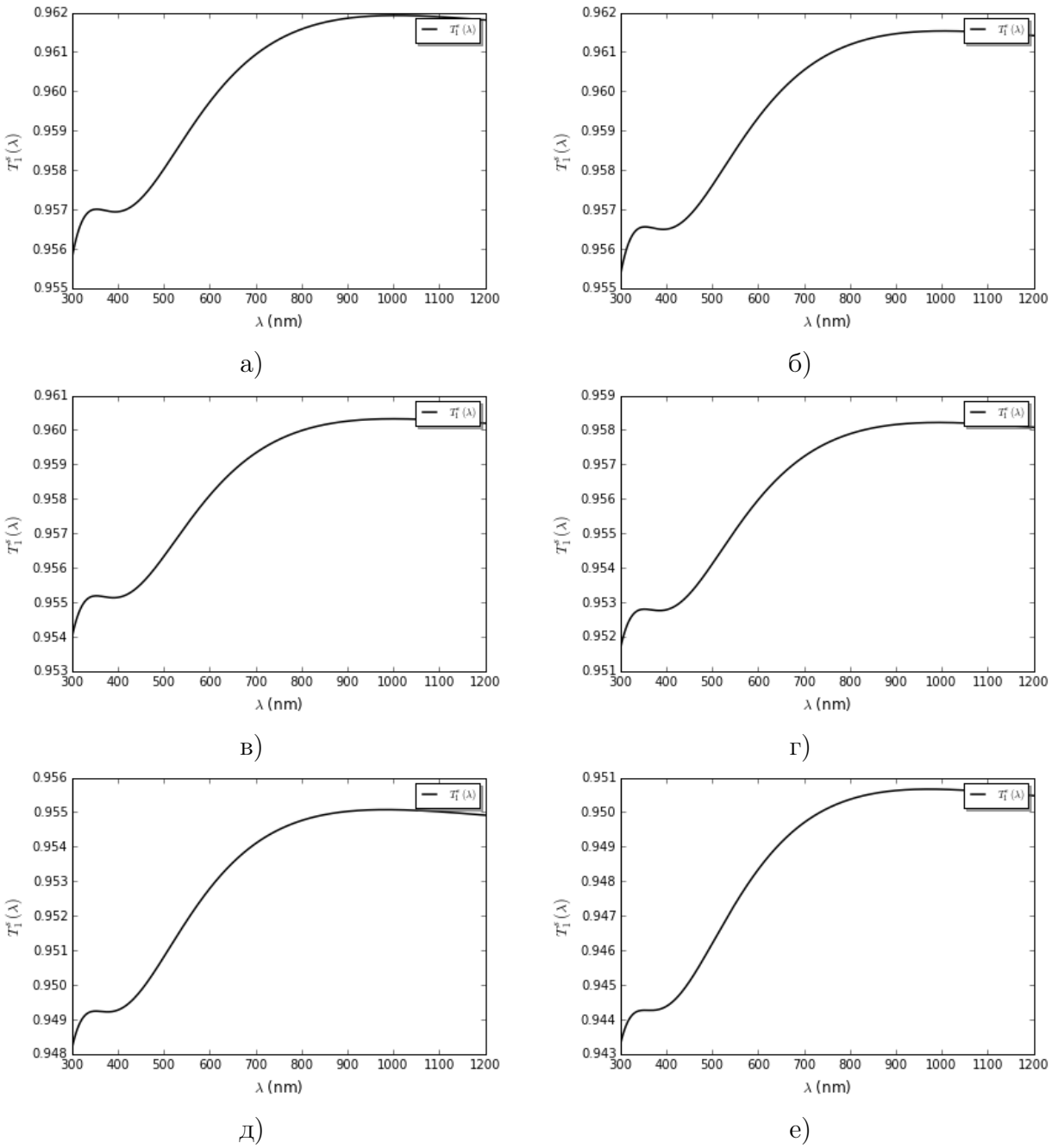


Рис. 3. Зависимость энергетического коэффициента пропускания от длины волны оптического излучения для случая падения s-поляризованной оптической волны из воздуха на двухплёночную нанокомпозитную структуру из первой нанокомпозитной плёнки толщиной $d_1 = 150$ нм из полиметилметакрилата с наночастицами серебра с радиусом $a_1 = 2.5$ нм, фактором заполнения $f_1 = 2.5\,\%$, второй нанокомпозитной плёнки толщиной $d_2 = 240$ нм из полиметилметакрилата с наночастицами серебра с радиусом $a_2 = 4.5$ нм, фактором заполнения $f_2 = 4.5\,\%$, расположенную на подложке из стекла BK7 при угле падения излучения а) $\theta_0 = 0^\circ$, б) $\theta_0 = 5^\circ$, в) $\theta_0 = 10^\circ$, г) $\theta_0 = 15^\circ$, д) $\theta_0 = 20^\circ$, е) $\theta_0 = 25^\circ$.

На рис. 3 изображена зависимость энергетического коэффициента пропускания от длины волны оптического излучения для случая падения s-поляризованной оптической волны из воздуха двухплёночную нанокомпозитную структуру из первой нанокомпозитной плёнки толщиной $d_1 = 150$ нм из полиметилметакрилата с наночастицами серебра с радиусом $a_1 = 2.5$ нм, фактором заполнения $f_1 = 2.5\,\%$, второй нанокомпозитной плёнки толщиной $d_2 = 240$ нм из полиметилметакрилата с наночастицами серебра с радиусом $a_2 = 4.5$ нм, фактором заполнения $f_2 = 4.5\,\%$, расположенную на подложке из стекла BK7 при угле падения излучения а) $\theta_0 = 0\,^\circ$, б) $\theta_0 = 5\,^\circ$, в) $\theta_0 = 10\,^\circ$, г) $\theta_0 = 15\,^\circ$, д) $\theta_0 = 20\,^\circ$, е) $\theta_0 = 25\,^\circ$. Из графиков видно, что нанокомпозитная плёнка обладает высоким оптическим пропусканием в широком диапазоне оптических длин волн.

Заключение

В работе проведено теоретическое и численное исследование оптических свойств нанокомпозитных структур с наночастицами серебра, находящихся во внешнем поле оптического излучения. Построена теоретическая модель оптических процессов в однослойной и двухслойной плёночной нанокомпозитной структуре. Компьютерная программа, которая была написана на языке программирования Python, позволяет вычислять оптические характеристики однослойной и двухслойной плёночных нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами. В результате численных расчётов оптических характеристик нанокомпозитных плёнок показано, что возможно оптическое просветление однослойной и двухслойной плёночных нанокомпозитных структур за счёт добавления металлических наночастиц. Гипотеза исследования заключающаяся в том, что если провести численные расчёты характеристик оптического пропускания и отражения от однослойных и двухслойных нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами, то можно прогнозировать поведение нанокомпозитных структур с металлическими наночастицами в составе более сложных структур в наноразмерных оптоэлектронных приборах, подтверждена полностью.

Список использованных источников

1. Kikuchi Hideyuki, Hanawa Hidehito, Honda Yuki. Development of polyamide-imide/silica nanocomposite enameled wire // Electronics and Communications in Japan. — 2013. — . — Vol. 96, no. 6. — P. 41–48. — URL: https://doi.org/10.1002/ecj.11456.

2. Pendry J. B. Negative refraction makes a perfect lens // Physical Review Letters. — 2000. — oct. — 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 // Opt. Express. — 2006. — Vol. 14, no. 23. — P. 11184–11193. — URL: http://dx.doi.org/10.1364/OE.14.011184.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Plasmonic properties of Ag nanoclusters in various polymer matrices / H. Takele [et al.] // Nanotechnology. — 2006. — jun. — Vol. 17, no. 14. — P. 3499–3505. — URL: http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/17/14/023.

8. Walters G., Parkin I. P. The incorporation of noble metal nanoparticles into host matrix thin films: synthesis, characterisation and applications // J. Mater. Chem. — 2009. — Vol. 19, no. 5. — P. 574–590. — URL: http://dx.doi.org/10.1039/B809646E.

9. Hutter E., Fendler J. H. Exploitation of Localized Surface Plasmon Resonance // Adv. Mater. — 2004. — oct. — Vol. 16, no. 19. — P. 1685–1706. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/adma.200400271.

10. Development of new decorative coatings based on gold nanoparticles dispersed in an amorphous TiO_2 dielectric matrix / M. Torrell [et al.] // Surface and Coatings Technology. — 2010. — jan. — Vol. 204, no. 9-10. — P. 1569–1575. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.10.003.

11. Atomic level imaging of Au nanocluster dispersed in TiO_2 and $SrTiO_3$ / C. M. Wang [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — 2006. — jan. — Vol. 242, no. 1-2. — P. 380–382. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2005.08.144.

12. Pacholski C., Kornowski A., Weller H. Site-specific photodeposition of silver on ZnO nanorods // Angewandte Chemie International Edition. — 2004. — sep. — Vol. 43, no. 36. — P. 4774–4777. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/anie.200453880.

13. Wu J.-J., Tseng Ch.-H. Photocatalytic properties of nc-Au/ZnO nanorod composites // Applied Catalysis B: Environmental. — 2006. — jun. — Vol. 66, no. 1-2. — P. 51–57. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.02.013.

14. Synthesis of CdS Nanorods by an Ethylenediamine Assisted Hydrothermal Method for Photocatalytic Hydrogen Evolution / Yu. Li [et al.] // J. Phys. Chem. C. — 2009. — may. — Vol. 113, no. 21. — P. 9352–9358. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/jp901505j.

15. Optical properties of Au nanocluster embedded dielectric films / S. Cho [et al.] // Thin Solid Films. — 2000. — dec. — Vol. 377-378. — P. 97–102. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01391-2.

16. The optical Kerr effect in small metal particles and metal colloids: The case of gold / F. Hache [et al.] // Applied Physics A: Solids and Surface. — 1988. — dec. — Vol. 47, no. 4. — P. 347–357. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/BF00615498.

17. Absorption and scattering of light by small particles / Ed. by C. F. Bohren, D. R. Huffman. — Wiley-Blackwell, 1998. — apr. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/9783527618156.

18. Dimensionality-Induced Change in Topological Order in Multiferroic Oxide Superlattices / Megan E. Holtz [et al.] // Physical Review Letters. — 2021. — apr. — Vol. 126, no. 15. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevlett.126.157601.

19. Enhanced Solar-to-Hydrogen Generation with Broadband Epsilon-Near-Zero Nanostructured Photocatalysts / Yi Tian [et al.] // Advanced Materials. — 2017. — may. — Vol. 29, no. 27. — P. 1701165. — URL: https://doi.org/10.1002/adma.201701165.

20. Monochromatic Multimode Antennas on Epsilon-Near-Zero Materials / Owen Dominguez [et al.] // Advanced Optical Materials. — 2019. — mar. — Vol. 7, no. 10. — P. 1800826. — URL: https://doi.org/10.1002/adom.201800826.

21. Fully Automated Identification of Two-Dimensional Material Samples / Eliska Greplova [et al.] // Physical Review Applied. — 2020. — jun. — Vol. 13, no. 6. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevapplied.13.064017.

22. Quantum transport in three-dimensional metalattices of platinum featuring an unprecedentedly large surface area to volume ratio / Yixuan Chen [et al.] // Physical Review Materials. — 2020. — mar. — Vol. 4, no. 3. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.4.035201.

23. Epsilon-Near-Zero Photonics: A New Platform for Integrated Devices / Xinxiang Niu [et al.] // Advanced Optical Materials. — 2018. — mar. — Vol. 6, no. 10. — P. 1701292. — URL: https://doi.org/10.1002/adom.201701292.

24. 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.

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. Gadomsky O. N., Altunin K. K., Ushakov N. M. Ideal optical antireflection of composite films activated by spherical nanoparticles // JETP Letters. — 2009. — oct. — Vol. 90, no. 4. — P. 251–256. — URL: https://doi.org/10.1134/s0021364009160061.

27. Neeves A. E., Birnboim M. H. Composite structures for the enhancement of nonlinear-optical susceptibility // Journal of the Optical Society of America B. — 1989. — apr. — Vol. 6, no. 4. — P. 787. — URL: https://doi.org/10.1364/josab.6.000787.

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

E-mail: el0al@yandex.ru
ORCID iD 0000-0002-0107-3143
Web of Science ResearcherID AAX-8431-2021

Investigation of optical transmission and reflection of nanocomposite structures with metal nanoparticles

K. K. Altunin, E. V. Alexandrova

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted June 7, 2021
Resubmitted October 12, 2021
Published December 10, 2021

Abstract. The physical features of optical processes in nanocomposite structures with metal nanoparticles are considered. Numerical calculations of the transmittance and reflectivity of nanocomposite structures with metal nanoparticles in an external field of optical radiation have been carried out. To calculate the optical characteristics, a computer program was compiled in the Python programming language, which allows plotting the dependences of the reflectance and transmission abilities of nanocomposite structures with metal nanoparticles on the wavelength of external optical radiation. The dependences of the energy coefficients of optical transmission and reflection of nanocomposite structures with metal nanoparticles on the radiation wavelength in the optical wavelength range are obtained for various values of the parameters of nanocomposite structures. It is shown that it is possible to effectively control the optical transmission of optical radiation by changing the parameters of nanocomposite structures with metal nanoparticles.

Keywords: nanocomposite, nanocomposite film, nanomaterial, optical radiation, optical transmittance, optical reflection coefficient, antireflection optical coating, optical devices

PACS: 42.25.Bs

References

1. Dimensionality-Induced Change in Topological Order in Multiferroic Oxide Superlattices / Megan E. Holtz [et al.] // Physical Review Letters. — 2021. — apr. — Vol. 126, no. 15. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevlett.126.157601.

2. Kikuchi Hideyuki, Hanawa Hidehito, Honda Yuki. Development of polyamide-imide/silica nanocomposite enameled wire // Electronics and Communications in Japan. — 2013. — . — Vol. 96, no. 6. — P. 41–48. — URL: https://doi.org/10.1002/ecj.11456.

3. Enhanced Solar-to-Hydrogen Generation with Broadband Epsilon-Near-Zero Nanostructured Photocatalysts / Yi Tian [et al.] // Advanced Materials. — 2017. — may. — Vol. 29, no. 27. — P. 1701165. — URL: https://doi.org/10.1002/adma.201701165.

4. Monochromatic Multimode Antennas on Epsilon-Near-Zero Materials / Owen Dominguez [et al.] // Advanced Optical Materials. — 2019. — mar. — Vol. 7, no. 10. — P. 1800826. — URL: https://doi.org/10.1002/adom.201800826.

5. Fully Automated Identification of Two-Dimensional Material Samples / Eliska Greplova [et al.] // Physical Review Applied. — 2020. — jun. — Vol. 13, no. 6. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevapplied.13.064017.

6. Quantum transport in three-dimensional metalattices of platinum featuring an unprecedentedly large surface area to volume ratio / Yixuan Chen [et al.] // Physical Review Materials. — 2020. — mar. — Vol. 4, no. 3. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.4.035201.

7. Epsilon-Near-Zero Photonics: A New Platform for Integrated Devices / Xinxiang Niu [et al.] // Advanced Optical Materials. — 2018. — mar. — Vol. 6, no. 10. — P. 1701292. — URL: https://doi.org/10.1002/adom.201701292.

8. Neeves A. E., Birnboim M. H. Composite structures for the enhancement of nonlinear-optical susceptibility // Journal of the Optical Society of America B. — 1989. — apr. — Vol. 6, no. 4. — P. 787. — URL: https://doi.org/10.1364/josab.6.000787.

9. Pendry J. B. Negative refraction makes a perfect lens // Physical Review Letters. — 2000. — oct. — Vol. 85, no. 18. — P. 3966–3969. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevlett.85.3966.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Plasmonic properties of Ag nanoclusters in various polymer matrices / H. Takele [et al.] // Nanotechnology. — 2006. — jun. — Vol. 17, no. 14. — P. 3499–3505. — URL: http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/17/14/023.

15. Walters G., Parkin I. P. The incorporation of noble metal nanoparticles into host matrix thin films: synthesis, characterisation and applications // J. Mater. Chem. — 2009. — Vol. 19, no. 5. — P. 574–590. — URL: http://dx.doi.org/10.1039/B809646E.

16. Hutter E., Fendler J. H. Exploitation of Localized Surface Plasmon Resonance // Adv. Mater. — 2004. — oct. — Vol. 16, no. 19. — P. 1685–1706. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/adma.200400271.

17. Development of new decorative coatings based on gold nanoparticles dispersed in an amorphous TiO_2 dielectric matrix / M. Torrell [et al.] // Surface and Coatings Technology. — 2010. — jan. — Vol. 204, no. 9-10. — P. 1569–1575. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.10.003.

18. Atomic level imaging of Au nanocluster dispersed in TiO_2 and $SrTiO_3$ / C. M. Wang [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — 2006. — jan. — Vol. 242, no. 1-2. — P. 380–382. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2005.08.144.

19. Pacholski C., Kornowski A., Weller H. Site-specific photodeposition of silver on ZnO nanorods // Angewandte Chemie International Edition. — 2004. — sep. — Vol. 43, no. 36. — P. 4774–4777. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/anie.200453880.

20. Wu J.-J., Tseng Ch.-H. Photocatalytic properties of nc-Au/ZnO nanorod composites // Applied Catalysis B: Environmental. — 2006. — jun. — Vol. 66, no. 1-2. — P. 51–57. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.02.013.

21. Synthesis of CdS Nanorods by an Ethylenediamine Assisted Hydrothermal Method for Photocatalytic Hydrogen Evolution / Yu. Li [et al.] // J. Phys. Chem. C. — 2009. — may. — Vol. 113, no. 21. — P. 9352–9358. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/jp901505j.

22. Optical properties of Au nanocluster embedded dielectric films / S. Cho [et al.] // Thin Solid Films. — 2000. — dec. — Vol. 377-378. — P. 97–102. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01391-2.

23. The optical Kerr effect in small metal particles and metal colloids: The case of gold / F. Hache [et al.] // Applied Physics A: Solids and Surface. — 1988. — dec. — Vol. 47, no. 4. — P. 347–357. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/BF00615498.

24. Absorption and scattering of light by small particles / Ed. by C. F. Bohren, D. R. Huffman. — Wiley-Blackwell, 1998. — apr. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/9783527618156.

25. 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.

26. 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.

27. Gadomsky O. N., Altunin K. K., Ushakov N. M. Ideal optical antireflection of composite films activated by spherical nanoparticles // JETP Letters. — 2009. — oct. — Vol. 90, no. 4. — P. 251–256. — URL: https://doi.org/10.1134/s0021364009160061.

28. 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 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 Vladimirovna Alexandrova — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: el0al@yandex.ru
ORCID iD 0000-0002-0107-3143
Web of Science ResearcherID AAX-8431-2021

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Исследование оптического пропускания границы раздела композитной среды с включениями из микротрубчатого метаматериала

К. К. Алтунин, Е. А. Шленкина [1]

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

Поступила в редакцию 12 ноября 2021 года
После переработки 2 декабря 2021 года
Опубликована 10 декабря 2021 года

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

Ключевые слова: метаматериал, микротрубочный метаматериал, нанокомпозит, нанокомпозитная среда, оптическое пропускание, оптическое излучение, ближние продольные поля, длина волны излучения, численные расчёты

PACS: 42.25.Bs

[1] E-mail: zmejka123@mail.ru

Введение

В работе приводятся результаты теоретического исследования оптических свойств композитных сред, содержащих включения из микротрубочных метаматериалов. Исследование оптических свойств нанокомпозитных сред, содержащих систему включений из микротрубочных метаматериалов, представляет собой актуальную задачу современной оптики твердотельных наноструктур. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью создания новых оптоэлектронных приборов на основе наноструктур из микротрубочных метаматериалов с уникальными оптическими свойствами и повышенным быстродействием. В настоящее время активно развиваются технологии получения новых метаматериалов.

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

В задачи исследования входит написание обзора литературы по оптическим свойствам метаматериалов, построение теоретической модели оптических процессов в микротрубочных метаматериалах, проведение численных расчётов эффективного показателя преломления и энергетического коэффициента оптического пропускания микротрубочного метаматериала.

Объектом исследованием является микротрубочный метаматериал.

Предметом исследованием являются оптические характеристики наноструктурной среды с включениями из микротрубочных метаматериалов, находящейся в поле оптического излучения.

Гипотеза исследования состоит в том, что можно эффективно управлять величиной оптического пропускания нанокомпозитов из микротрубочных метаматериалов в зависимости их от геометрической конструкции.

В качестве материалов исследования выбраны микротрубочные метаматериалы.

В качестве методов исследования используются теоретические и численные методы расчета оптических характеристик микротрубочных метаматериалов.

Обзор работ по физическим свойствам метаматериалов

На основе метаматериалов уже созданы или разрабатываются суперлинзы и гиперлинзы, сенсоры ближнего поля, идеальные детекторы фотонов и целый ряд других устройств [1–3].

В [4–7] разрабатываются метаматериалы, в которых показатель преломления достигает квазинулевых и нулевых значений лишь в очень узких диапазонах длин волн.

В статье [8] продемонстрирован метод, основанный на фемтосекундной лазерно-индуцированной прозрачности для высокопроизводительной и эффективной обработки периодических многослойных плазмонных метаматериалов.

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 [9]. Различные преимущества плазмонных наноструктур были обнаружены недавно [10], и большинство из них связаны с возбуждением интенсивного локализованного поверхностного плазмонного резонанса в металлических наноструктурах и сильным подавлением отражения света в окрестности резонанса [11]. 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 [12]. 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 [13]. С недавнего времени полностью диэлектрическая фотоника была предложена в качестве эффективной альтернативы плазмонике [9, 14, 15]. 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 наноуровне [16]. 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 [17]. Спектр резонанса высокоиндексных структур определяется геометрическими параметрами наряду с оптическими свойствами и, следовательно, может быть эффективно настроен в процессе изготовления [18]. Кроме того, внимание исследователей в последнее время привлекают важные особенности наночастиц с высоким индексом: на определенной длине волны они обладают высокой направленностью диаграммы направленности [19, 20], 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 [21], в то время как такие частицы часто называют элементом Гюйгенса [22–26]. 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 [27]. В статье [27] 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 резонансов 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 [28] рассматриваются основные положения и последние достижения в области перестраиваемых диэлектрических метаповерхностей. В частности, обсуждаются механизмы настройки для метаповерхностей диэлектрика, изменение материала резонаторов и их окружения.

Проведённый анализ опубликованных за последнее время работ по исследованиям 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 нанокомпозитов на основе метаматериалов.

Теоретическая модель и результаты

Рассмотрим выражения для коэффициентов Френеля для отражения и пропускания оптической волны от границы раздела двух сред. Пусть на границу раздела сред 0 и 1 падает внешняя оптическая волна. Угол падения оптической волны обозначим θ_0, а угол преломления обозначим θ_1. Напряжённость электрического поля внешней электромагнитной волны имеет вид представим в виде плоской волны. Будем использовать комплексное представление для записи векторов напряжённостей внешней, отражённой и прошедшей через границу раздела сред волн:

$$\mathbf{E}_{in}\left(\mathbf{r},t\right)=\mathbf{E}_{in}\left(0\right)\exp\{\left(i\left(\omega t-\mathbf{k}_{in}\mathbf{r}\right)\right)\}\ , \tag{1}$$

$$\mathbf{E}_{r}\left(\mathbf{r},t\right)=\mathbf{E}_{r}\left(0\right)\exp\{\left(i\left(\omega t-\mathbf{k}_{r}\mathbf{r}\right)\right)\}\ , \tag{2}$$

$$\mathbf{E}_{t}\left(\mathbf{r},t\right)=\mathbf{E}_{t}\left(0\right)\exp\{\left(i\left(\omega t-\mathbf{k}_{t}\mathbf{r}\right)\right)\}\ , \tag{3}$$

где амплитуды напряжённостей электрического поля оптической волны для случая s-поляризации и p-поляризации определяются выражениями:

$$\mathbf{E}_{r}^{s}\left(0\right)=r^{s}\mathbf{E}_{in}\left(0\right)\ , \tag{4}$$

$$\mathbf{E}_{t}^{s}\left(0\right)=t^{s}\mathbf{E}_{in}\left(0\right)\ , \tag{5}$$

$$\mathbf{E}_{r}^{p}\left(0\right)=r^{p}\mathbf{E}_{in}\left(0\right)\ , \tag{6}$$

$$\mathbf{E}_{t}^{p}\left(0\right)=t^{p}\mathbf{E}_{in}\left(0\right)\ , \tag{7}$$

где r^s, t^s, r^p и t^p являются амплитудными коэффициентами Френеля для s- и p-компонент отражённой и прошедшей волн.

В случае прозрачных сред амплитудные коэффициенты Френеля принимают вид:

$$r_{01}^{s}=\frac{\mathrm{tg}\left(\theta_0-\theta_1\right)}{\mathrm{tg}\left(\theta_0+\theta_1\right)}\ , \tag{8}$$

$$t_{01}^{s}=\frac{2\sin\theta_1\cos\theta_0}{\sin\left(\theta_0+\theta_1\right)}\ , \tag{9}$$

$$r_{01}^{p}=\frac{\mathrm{tg}\left(\theta_0-\theta_1\right)}{\mathrm{tg}\left(\theta_0+\theta_1\right)}\ , \tag{10}$$

$$t_{01}^{p}=\frac{2n_0/\cos\theta_1}{n_1/\cos\theta_1+n_0/\cos\theta_0}\ . \tag{11}$$

Определим энергетические коэффициенты отражения и пропускания границы раздела с композитной средой

$$R_{0,1}^{s,p}=\left|r_{0,1}^{s,p}\right|^2\ , \tag{12}$$

$$T_{0,1}^{s,p}=\frac{n_1\cos\theta_1}{n_0\cos\theta_0}\left|t_{0,1}^{s,p}\right|^2\ . \tag{13}$$

Для энергетических коэффициентов выполняется закон сохранения

$$R_{0,1}^{s,p}+T_{0,1}^{s,p}=1\ . \tag{14}$$

Рассмотрим модель микротрубчатого метаматериала в приближении эффективной среды. Отметим, что эффективная диэлектрическая проницаемость ε композитной среды даётся формулой Максвелл–Гарнетта:

$$\frac{\varepsilon_i-\varepsilon}{\varepsilon_i+\varepsilon}=f\frac{\varepsilon_m-\varepsilon}{\varepsilon_m+\varepsilon}\ , \tag{15}$$

где ε_m и ε_i – диэлектрическая проницаемость материала матрицы (полиметилметакрилата) и включения соответственно. Рассматриваем микротрубочную элементарную ячейку. Следовательно, заполняющая фракция f равна отношению площади поперечного сечения материала матрицы к элементарной ячейке. Предполагаем, что параметры гексагональной решётки $d = 200$ мкм и

$$f = 1 - \frac{2\pi\left(R_2^2 - R_1^2\right)}{\sqrt{3}d^2} \tag{16}$$

с радиусом каналов R_1.

Конструкция исследуемого микротрубочного метаматериала изображена на рис. 1.

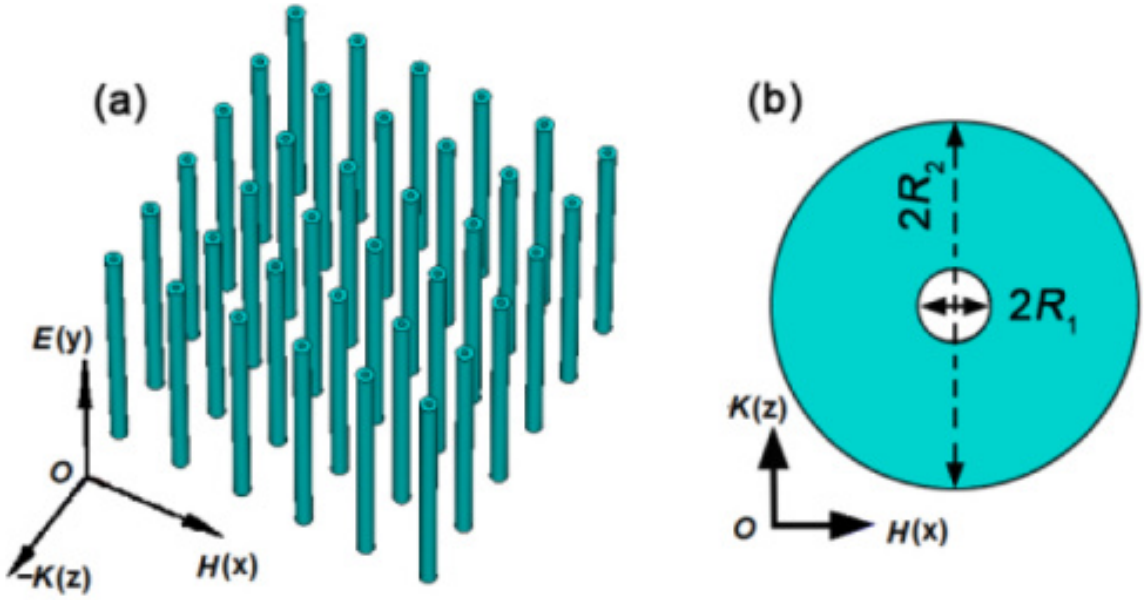


Рис. 1. Трёхмерный вид (а) и вид сверху элемента структуры (б) для иллюстрации бесконечно длинного диэлектрического микротрубочного метаматериала. Зонд использовался для контроля усиления локального поля в предполагаемом горячем месте для тороидального дипольного резонанса (то есть в центре микротрубки).

Диэлектрическая проницаемость метаматериала равна

$$\varepsilon_i(\omega) = 1 + \left(\frac{gC_0}{\ell^2}\right)^2 \frac{F}{\omega_{LC}^2 - \omega^2 - i\gamma\omega} \ . \tag{17}$$

Магнитная проницаемость метаматериала равна

$$\mu_i(\omega) = 1 + \frac{F\omega^2}{\omega_{LC}^2 - \omega^2 - i\gamma\omega} \ , \tag{18}$$

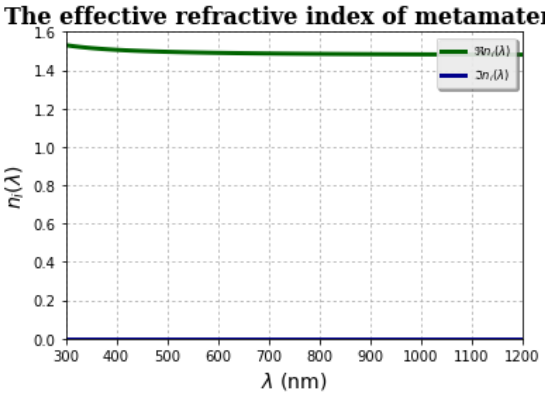
где $\gamma = R/L$. Квадрат показателя преломления метаматериала равен

$$n_i^2(\omega) = \varepsilon_i(\omega)\,\mu_i(\omega) \ . \tag{19}$$

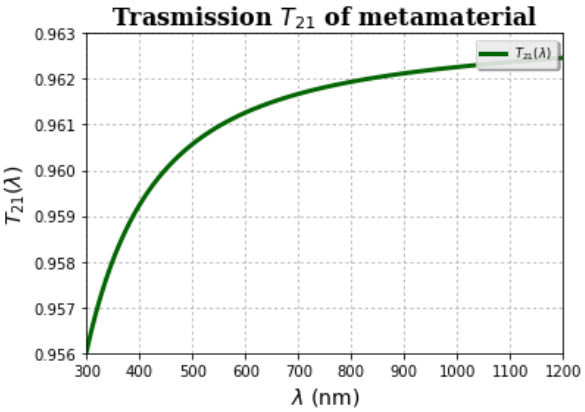
Рассмотрим процесс оптического пропускания микротрубочного метаматериала. Наноструктуры из метаматериалов, структуры из чередующихся слоёв обычных материалов и метаматериалов вызывают необычайный интерес в связи с приложениями в оптических и оптоэлектронных приборах и системах. При попытках теоретического 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 случае не представляется возможным.

Будем рассчитывать оптическое пропускание границы раздела с тороидальным метаматериалом, находящемся во внешнем поле непрерывного оптического излучения. На рис. 2 изображена зависимость эффективного показателя преломления (a) и энергетического коэффициента оптического пропускания (b) метаматериала от длины волны излучения. Параметры метаматериала: $d = 200$ мкм, $R_1 = 5$ мкм, $R_2 = 25$ мкм. На рис. 3 изображена зависимость эффективного показателя преломления (a) и энергетического коэффициента оптического пропускания (b) метаматериала от длины волны излучения. Параметры метаматериала: $d = 200$ мкм, $R_1 = 15$ мкм, $R_2 = 40$ мкм.

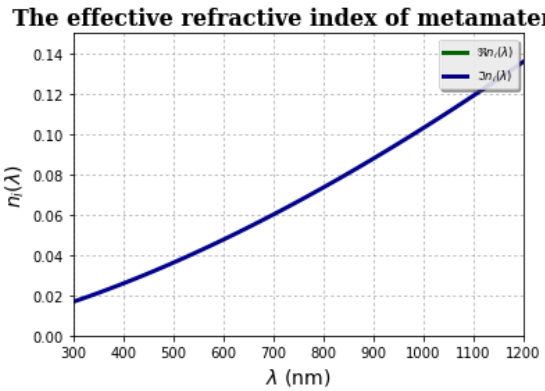


a)

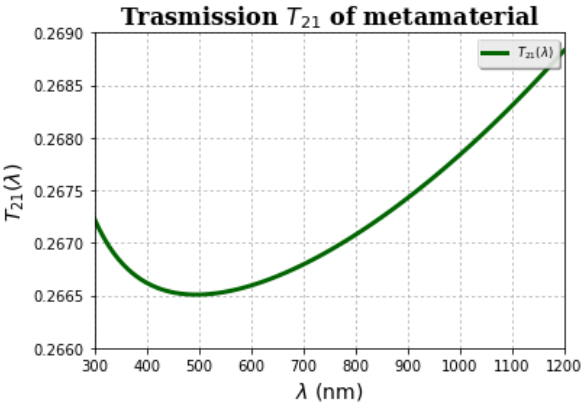


b)

Рис. 2. Зависимость эффективного показателя преломления (a) и энергетического коэффициента оптического пропускания (b) метаматериала от длины волны излучения. Параметры метаматериала: $d = 200$ мкм, $R_1 = 5$ мкм, $R_2 = 25$ мкм.



a)



b)

Рис. 3. Зависимость эффективного показателя преломления (a) и энергетического коэффициента оптического пропускания (b) метаматериала от длины волны излучения. Параметры метаматериала: $d = 200$ мкм, $R_1 = 15$ мкм, $R_2 = 40$ мкм.

Численные исследования оптического пропускания границы раздела с микротрубочным метаматериалом показывают, что, изменяя параметры метаматериала, можно эффективно управлять оптическим пропусканием через границу раздела с микротрубочным метаматериалом.

Заключение

В работе решена граничная задача взаимодействия оптической волны с границей раздела микротрубчатого метаматериала в рамках приближения эффективной среды. В работе проведено теоретическое исследование оптических свойств композитных сред, составленных из микротрубочных метаматериалов. В ходе проведения исследования оптических свойств композитных сред, составленных из микротрубочных метаматериалов, использованы теоретические методы современной оптики твёрдого тела. Нанокомпозитные среды, составленные из микротрубочных метаматериалов, являются той базой, на которой создаются новые наноэлектронные приборы и устройства из микротрубочных метаматериалов с заданными структурными, электронными и оптическими свойствами, которые определяются размером, формой и упорядоченностью составляющих их наночастиц или других включений, а так же факторам заполнения наночастицами или другими структурными элементами составляющими включения. Оптические и электродинамические свойства искусственно созданного микротрубочного метаматериала определяются не столько структурной организацией, сколько оптическими и электродинамическими характеристиками образующих его компонент включений. При этом его эффективные характеристики могут значительно отличаться как от характеристик включений, так и диэлектрика матрицы композита, принимая совершенно уникальные значения, которые не встречаются среди природных материалов. Примером таких экзотических характеристик можно назвать эффективные комплексные показатели преломления и поглощения, которые способны изменяется в широких пределах в оптическом диапазоне длин волн. Важное направление в изучении микротрубочных метаматериалов связано с конструированием различных наноструктур из метаматериалов с разными эффективными диэлектрическими проницаемостями композитных сред.

По результатам работы можно сформулировать следующие выводы:

1. По результатам анализа работ по метаматериалам выбран оптимальный диапазон параметров для увеличения оптического пропускания наноструктуры на основе микротрубочного метаматериала.
2. Разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитывать основные оптические параметры наноструктуры на основе микротрубочного метаматериала.
3. В результате численных расчётов найдены значения параметров наноструктуры на основе микротрубочного метаматериала, позволяющие значительно увеличить оптическое пропускание. В результате численных расчётов обнаружено увеличение оптического пропускания границы раздела с микротрубочным метаматериалом.

В работе проведено исследование композитов, содержащих включения из микротрубочных метаматериалов, при помощи теоретических методов современной оптики наноструктур и численных методов, применяемых для вычисления коэффициентов оптического пропускания и отражения композитов, содержащих включения из микротрубочных метаматериалов. В результате проведённых численных расчётов зависимости энергетического коэффициента оптического пропускания композита с включениями из микротрубочных метаматериалов гипотеза исследования, состоящая в том, что можно эффективно управлять величиной оптического пропускания нанокомпозитов из микротрубочных метаматериалов в зависимости их от геометрической конструкции, подтверждена полностью.

Список использованных источников

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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/acsphotonics.5b00261.

27. 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.

28. 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 Шленкина — 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 the interface of a composite medium with inclusions from a microtubular metamaterial

K. K. Altunin, E. A. Shlenkina

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 12, 2021
Resubmitted December 2, 2021
Published December 10, 2021

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

Keywords: metamaterial, microtubular metamaterial, nanocomposite, nanocomposite medium, optical transmission, optical radiation, near longitudinal fields, radiation wavelength, numerical calculations

PACS: 42.25.Bs

References

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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/acsphotonics.5b00261.

27. 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.

28. 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 Shlenkina — 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 530.1
ББК 22.31
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 13.00.02

Разработка элементов дистанционного курса по оптике наноструктур в системе управления обучением MOODLE

Е. А. Гришанина [1]

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

Поступила в редакцию 5 октября 2021 года
После переработки 14 октября 2021 года
Опубликована 10 декабря 2021 года

Аннотация. Представлен результат разработки элементов дистанционного курса по оптике наноструктур при помощи инструментария системы управления обучением MOODLE. Рассматриваются теоретико-методические особенности создания дистанционного курса по оптике наноструктур в системе управления обучением MOODLE с системой задач и заданий в тестовой форме. Используются компьютерные методы контроля знаний по оптике наноструктур. Спроектирована модульная структура дистанционного курса по оптике наноструктур в системе управления обучением MOODLE в соответствии с требованиями к электронным образовательным ресурсам на основе систематизированного, оцифрованного и структурированного учебного материала по оптическим свойствам наноструктур. Разработанная на основе оригинальных материалов теоретическая часть курса по оптике наноструктур позволяет организовать эффективное изучение оптики наноструктур. Разработанная модульная структура курса по оптике наноструктур позволяет организовать планомерное изучение курса за счёт поддержания темпа изучения курса средствами системы управления обучением MOODLE. Разработанный банк вопросов и заданий курса по оптике наноструктур позволяет организовать планомерный контроль в процессе изучения курса за счёт поддержания темпа изучения курса средствами системы управления обучением MOODLE.

Ключевые слова: оптика, оптика наноструктур, дистанционный курс, система управления обучением, элемент курса, задача, задание

PACS: 01.40.-d

Введение

В работе представлено описание результатов разработки элементов дистанционного курса по оптике наноструктур в системе управления обучением MOODLE. Рассматриваются теоретико-методические особенности создания дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE с системой задач и заданий в тестовой форме.

[1] E-mail: grishanina1998@list.ru

Новизна работы заключается в использовании комбинаций традиционных и компьютерных методов контроля знаний по оптике наноструктур.

Целью исследования является научно-методическое исследование процесса разработки дистанционного курса “Оптика наноструктур”.

Задачей работы является проектирование модульной структуры и наполнения разнообразным содержанием структуры дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE в соответствии с требованиями к электронным образовательным ресурсам на основе систематизированного, оцифрованного и структурированного учебного материала по оптическим свойствам наноструктур, а также разработка теоретических материалов, заданий, задач курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Объектом исследования является дистанционный курс “Оптика наноструктур”.

Предметом исследования является процесс проектирования курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Гипотеза исследования состоит в выявлении того, каковы возможности использования курса “Оптика наноструктур” для активизации познавательной деятельности учащихся в области физики по оптическим свойствам наноструктур.

В качестве методов исследования используются методы теории и методики обучения физики для разработки основ курса “Оптика наноструктур”, а также компьютерные методы для создания дистанционного курса в системе управления обучением MOODLE.

В качестве материалов исследования выбраны теоретические и методические материалы курса “Оптика наноструктур”.

В работе [1] были представлены основные результаты процесса разработки электронного образовательного ресурса в университете при помощи инструментов Google Site и MOODLE.

В работе [2] было проведено исследование информационных образовательных сред и электронных учебников на примере отельной темы из курса физики.

В работе [3] был описан результат разработки и внедрения электронного курса по нанооптике в университете.

В работе [4] были представлены результаты разработки и сравнения электронных курсов по физико-технологической тематике в педагогическом университете.

Результаты разработки дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE

В настоящее время активно развивается технология получения различных наноструктур. Структуры из наноструктур, структуры из чередующихся слоёв обычных материалов и наноструктур вызывают необычайный интерес в связи с приложениями в оптических и оптоэлектронных приборах и системах. Новейшие знания о свойствах и технологии получения наноструктур необходимо внедрять в учебным процесс по физико-техническим дисциплинам. Для внедрения современных сведений о свойствах и технологии получения наноструктур предполагается разработать курс “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Выполним описание процесса разработки элементов разработанного дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE. Здесь представлено описание разработки элементов дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE. Рассматриваются теоретико-методические особенности создания дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE с системой задач и заданий в тестовой форме. Новизна разработки элементов дистанционного курса “Оптика наноструктур” заключается в использовании комбинаций традиционных и компьютерных методов контроля знаний по

оптике наноструктур. Целью исследования процесса разработки элементов дистанционного курса “Оптика наноструктур” является научно-методическое исследование процесса разработки электронного курса “Оптика наноструктур”. Объектом данной части исследования является дистанционный курс “Оптика наноструктур”. Предметом данной части исследования является процесс проектирования курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE. В качестве методов в данной части исследования используются методы и приёмы теории и методики обучения физики для разработки основ курса “Оптика наноструктур”, а также компьютерные методы для создания дистанционного курса на платформе MOODLE.

Рассмотрим особенности создания основных элементов дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE с системой задач и заданий в тестовой форме. Рассмотрим процесс проектирования модульной структуры курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE, размещённой на сайте ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова".

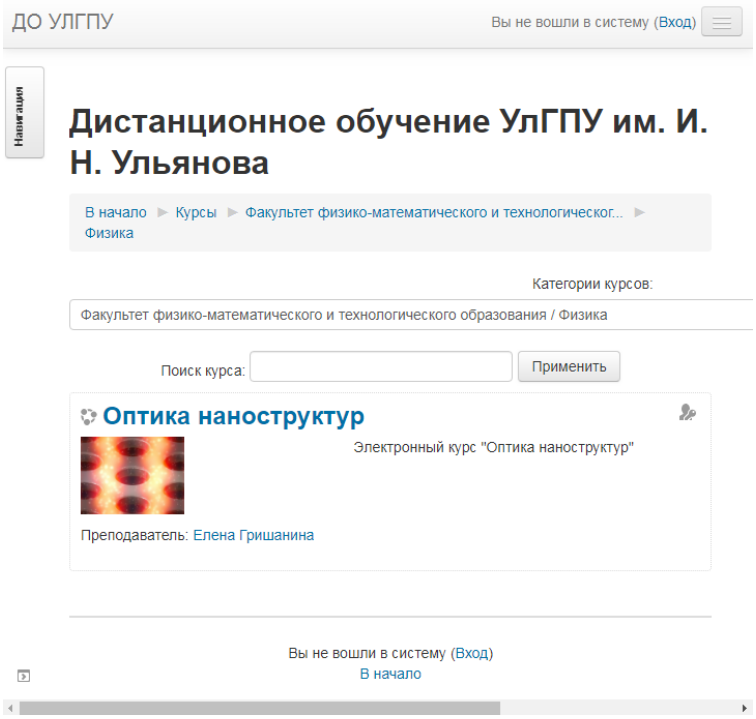


Рис. 1. Изображение входной страницы дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 представлено изображение входной страницы дистанционного курса “Оптика наноструктур”, созданного в системе управления обучением MOODLE.

В работе для демонстрации возможностей системы MOODLE был создан электронный курс по физике в системе дистанционного обучения Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова. Вид структуры модулей дистанционного курса “Оптика наноструктур” показан на рис. 2-7. На рис. 2 представлено изображение первой части структуры модулей дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 представлено изображение элементов первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Структура дистанционного курса “Оптика наноструктур” состоит из 7 модулей. Каждый из модулей является логическим продолжением предыдущего модуля по тематике. Каждый модуль содержит элементы для контроля знаний по учебной дисциплине

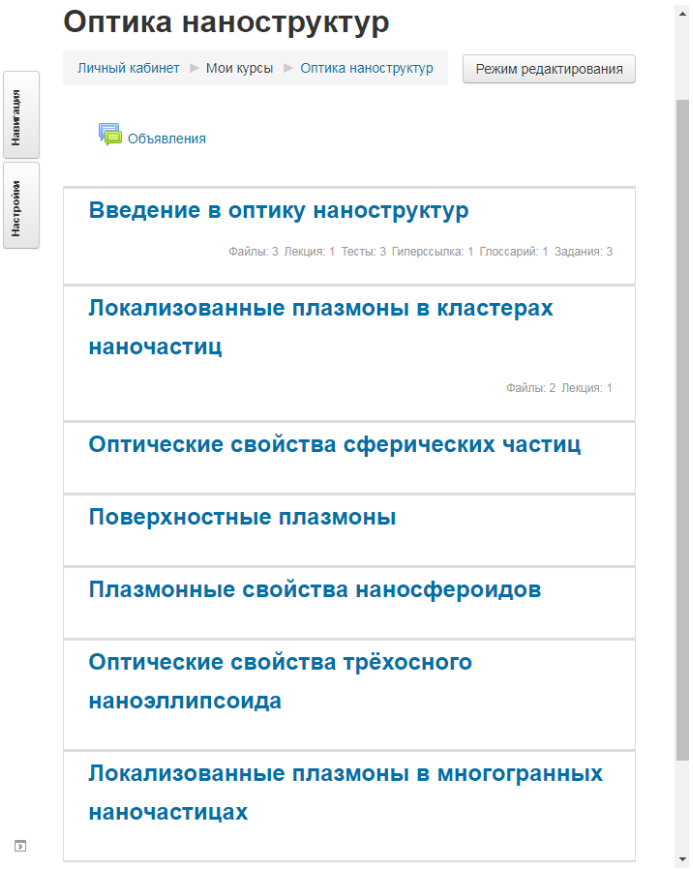


Рис. 2. Изображение первой части структуры модулей дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

“Оптика наноструктур”.

На рис. 4 представлено изображение элемента в виде файла в составе дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Разработанный дистанционный курс “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE может быть использован в университетских программах бакалавриата и магистратуры физико-математической и физико-технической направленности.

На рис. 5 представлено изображение элемента в виде лекции в составе дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 представлено изображение элемента глоссария курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Использование дистанционного курса “Оптика наноструктур” способствует повышению эффективности самостоятельной работы, обеспечению визуализации процесса обучения, повышению эффективности управления обучением с использованием возможностей системы MOODLE.

Выполним описание процесса разработки банка вопросов и заданий курса “Оптика наноструктур”. Рассмотрим описание разработки банка вопросов в составе дистанционного курса “Оптика наноструктур”, созданного в системе управления обучением MOODLE. Банк вопросов дистанционного курса “Оптика наноструктур” включает в себя разноуровневые вопросы разных типов по оптическим свойствам наноструктур.

Элементы контроля включают ряд тестов, набор задач и заданий в виде рефератов по темам курса.

На рис. 7 представлен первый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур”, который являются вопросом с выбором одного правильно ответа, ис-

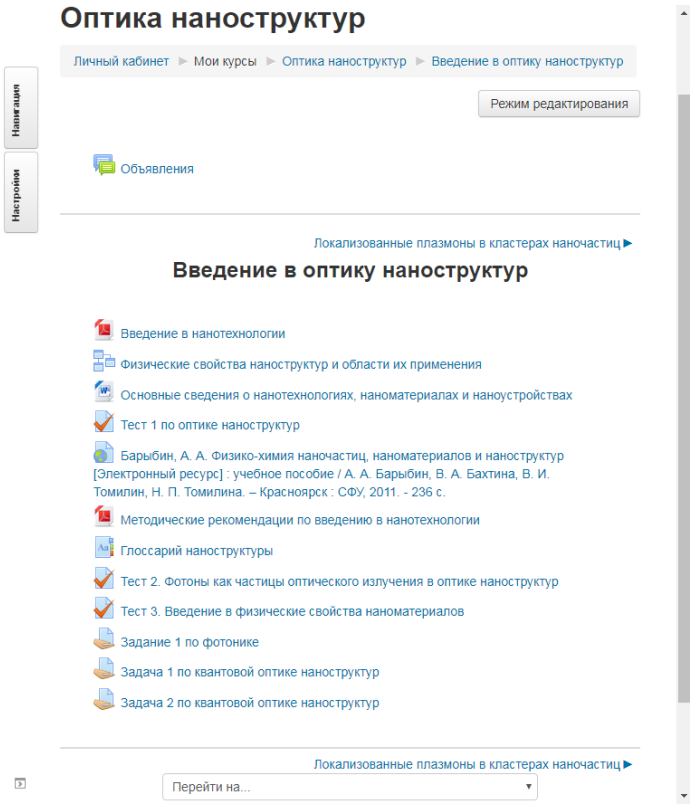


Рис. 3. Изображение элементов первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

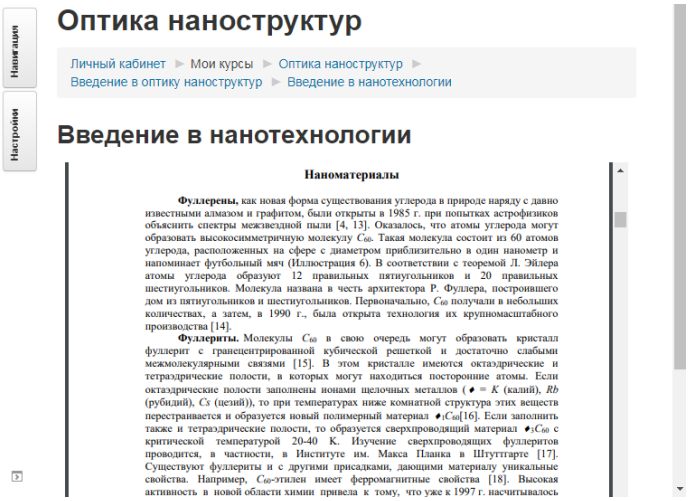


Рис. 4. Изображение элемента в виде файла в составе дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

пользующаяся для осуществления контроля за степенью теоретических знаний на репродуктивном уровне.

Элементы контроля включают ряд тестов, набор задач и заданий в виде рефератов по темам курса.

На рис. 8 представлен второй вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур”.

На рис. 9 представлен третий вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур”.

На рис. 10 представлен четвёртый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика

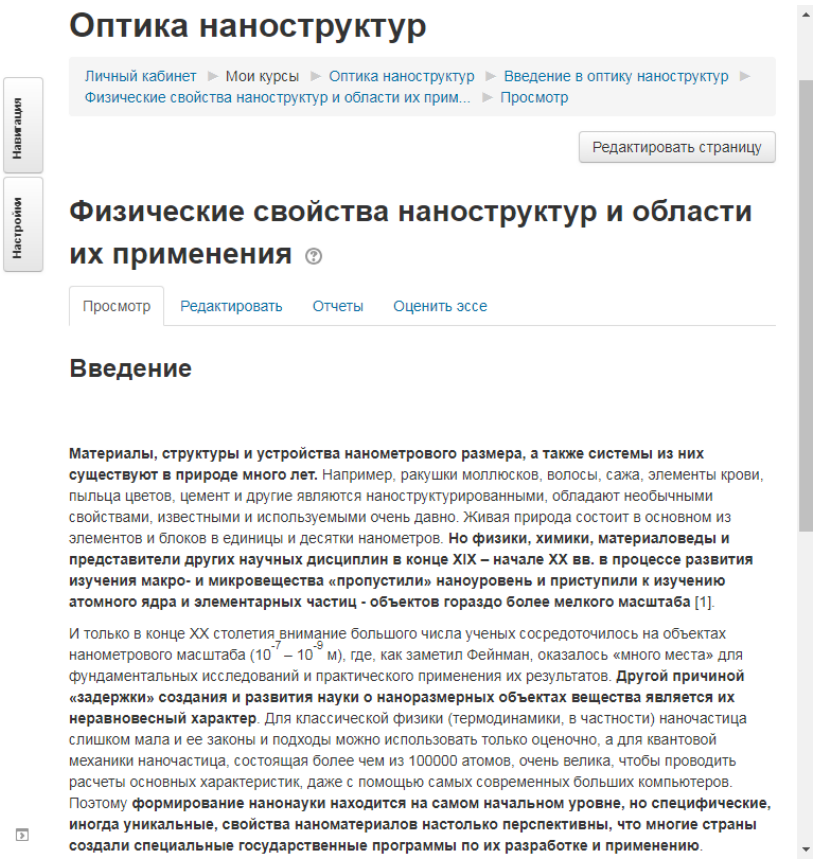


Рис. 5. Изображение элемента в виде лекции в составе дистанционного курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

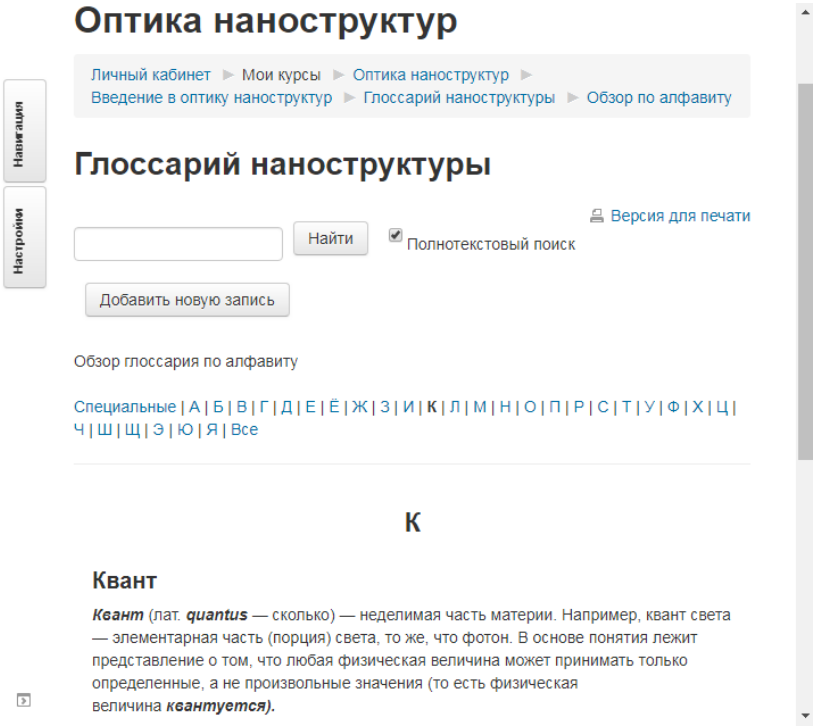


Рис. 6. Элемент глоссария курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

наноструктур”.

На рис. 11 представлен пятый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика

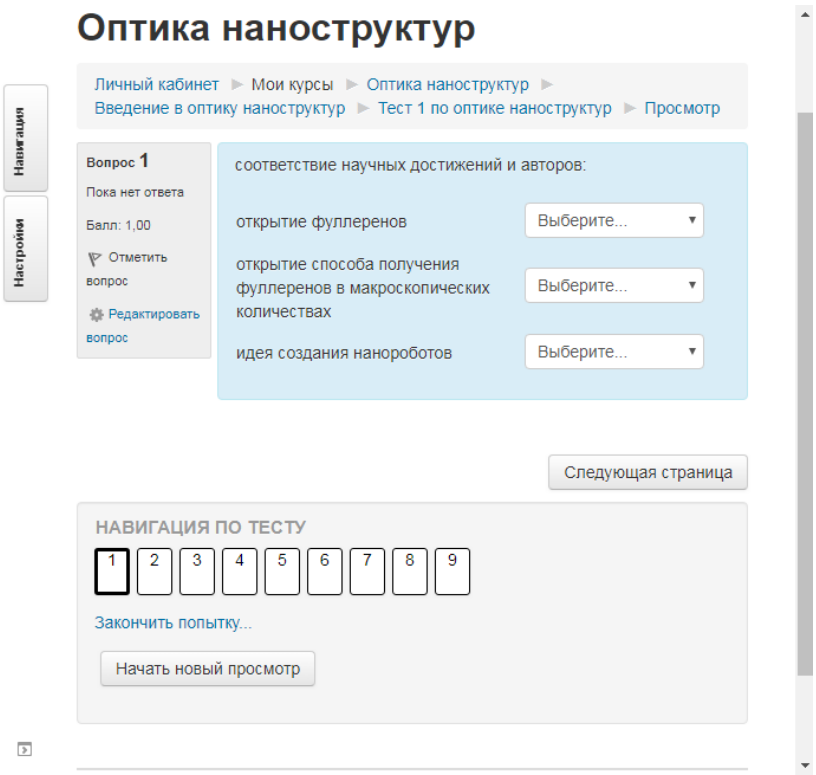


Рис. 7. Первый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

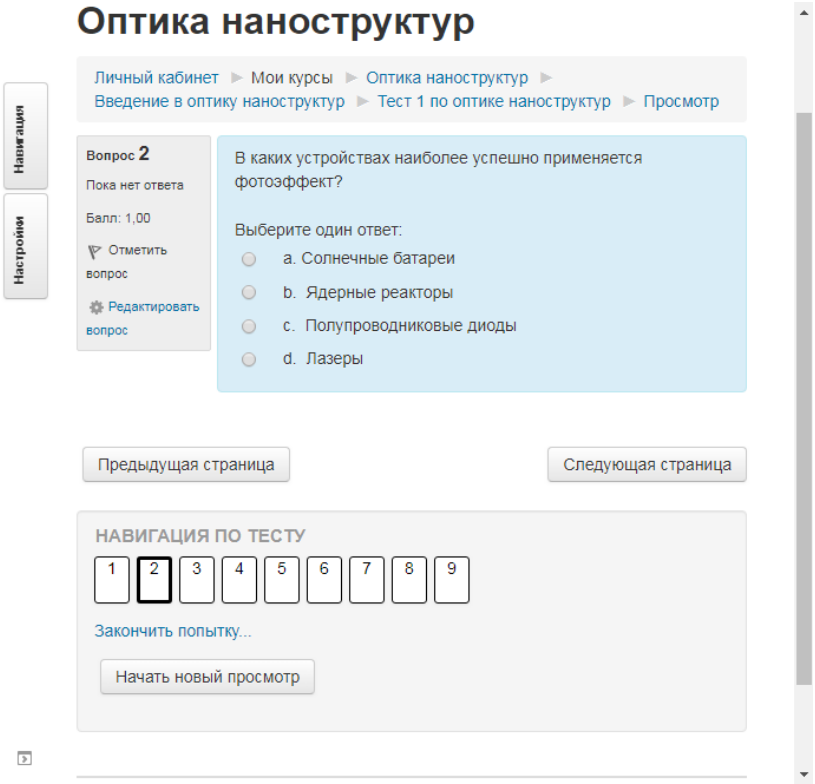


Рис. 8. Второй вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

наноструктур”.

На рис. 12 представлен шестой вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика

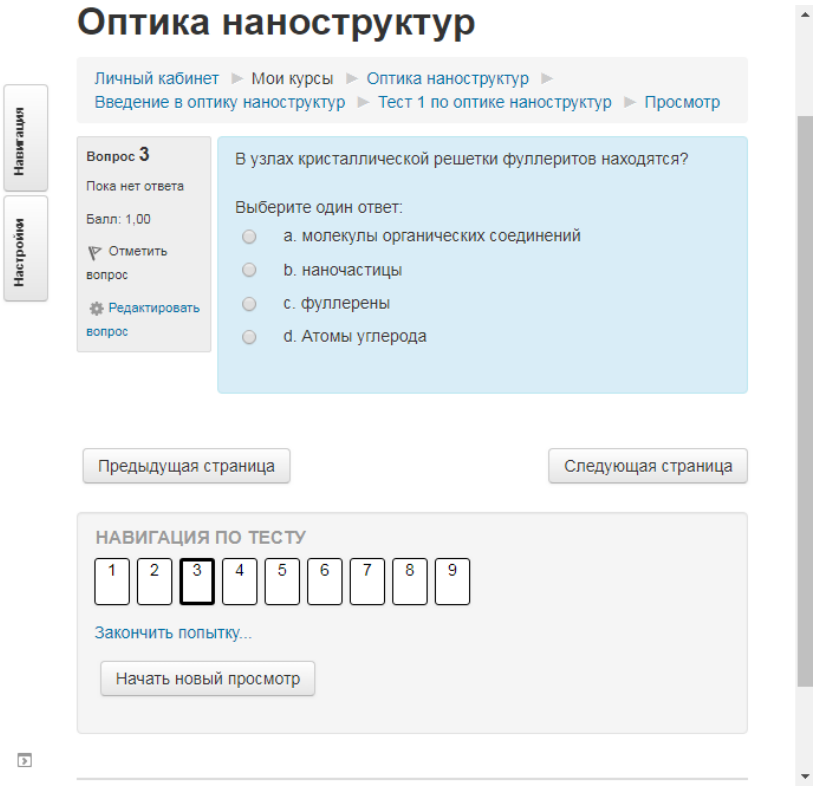


Рис. 9. Третий вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Рис. 10. Четвёртый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

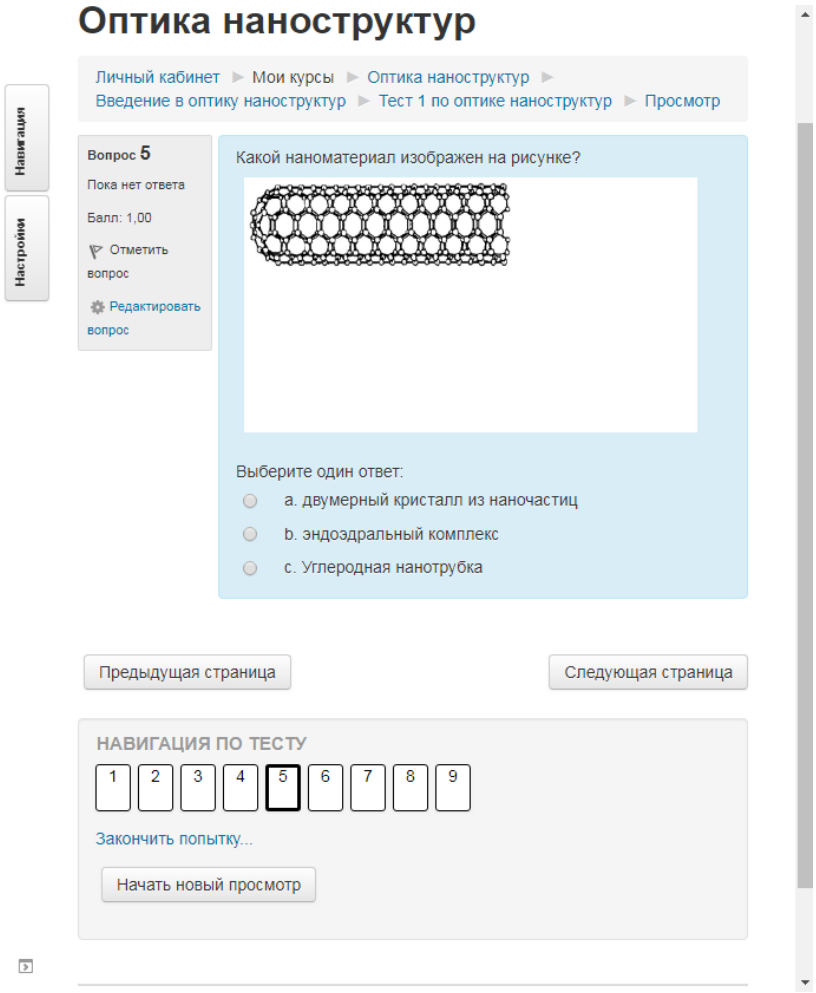


Рис. 11. Пятый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

наноструктур”.

На рис. 13 представлен седьмой вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур”.

На рис. 14 представлен восьмой вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур”.

На рис. 15 представлен девятый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур”.

На рис. 16 представлен первый вопрос из теста 2 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 17 представлен первый вопрос из теста 3 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 18 представлено задание 1 по фотонике из первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 19 представлена задача 1 по квантовой оптике наноструктур из первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 20 представлена задача 2 по квантовой оптике наноструктур из первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

При помощи разработанных заданий и задач курса можно осуществлять контроль теоретических знаний по курсу “Оптика наноструктур” средствами системы управления обучением MOODLE.

Использование дистанционного курса в процессе преподавания учебной дисципли-

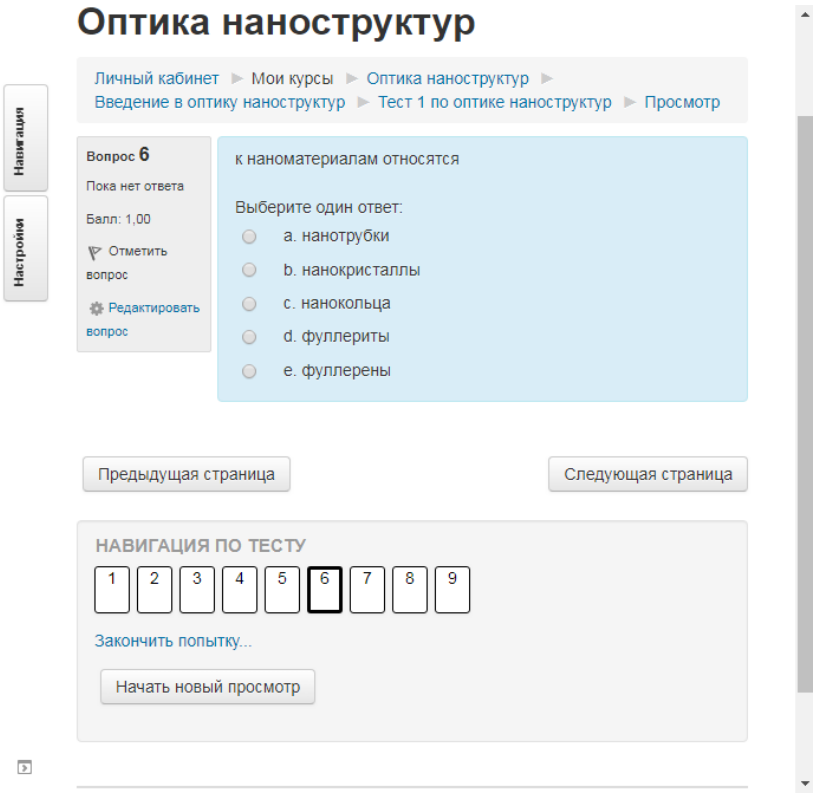


Рис. 12. Шестой вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

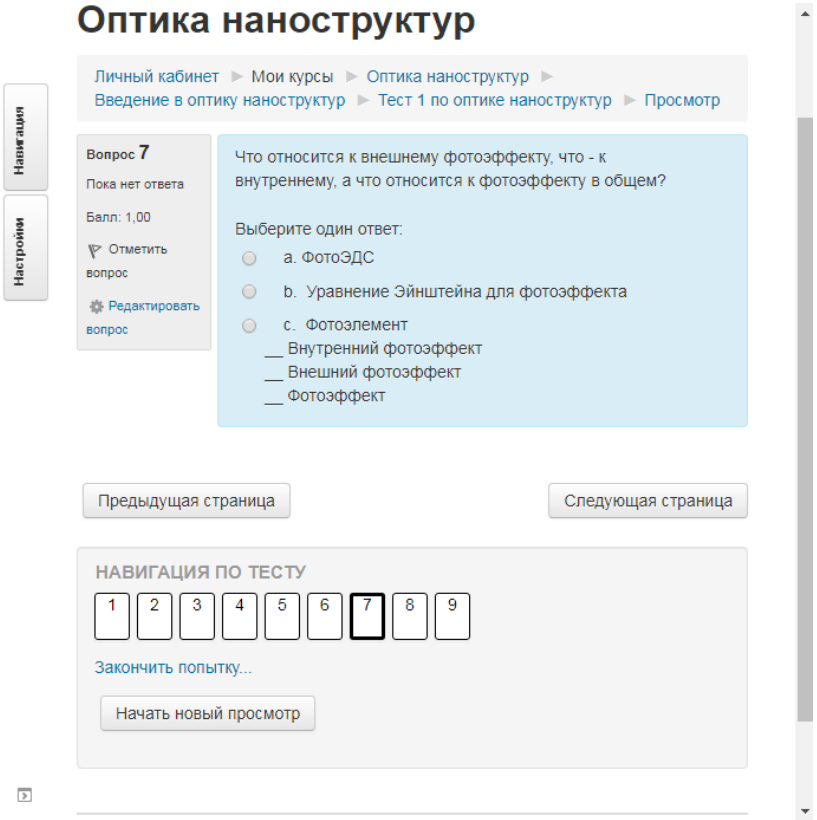


Рис. 13. Седьмой вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

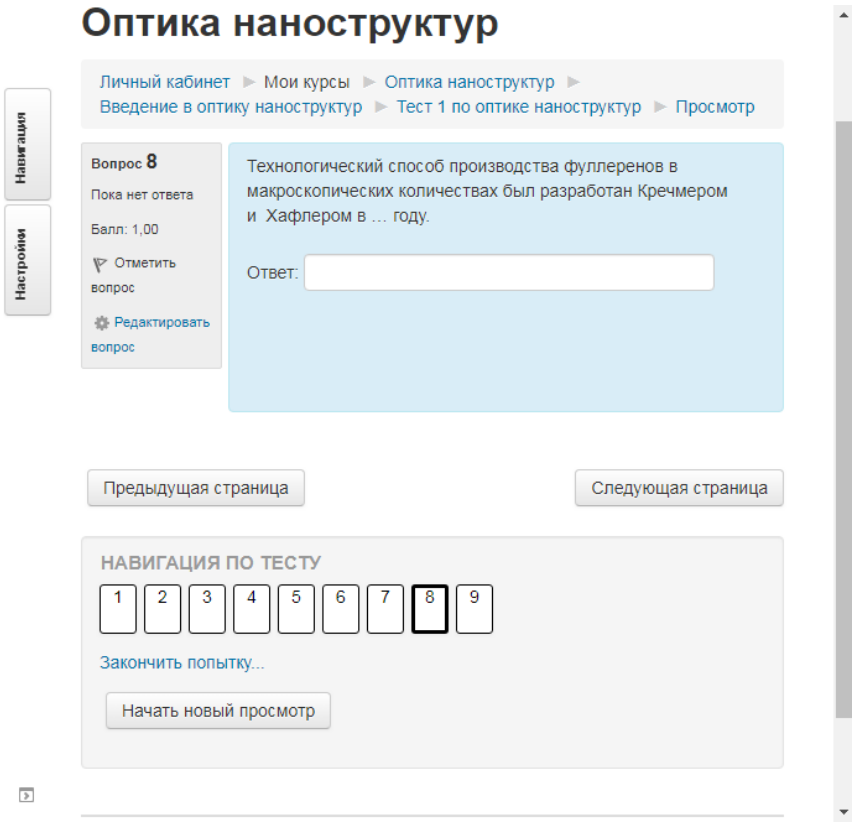


Рис. 14. Восьмой вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

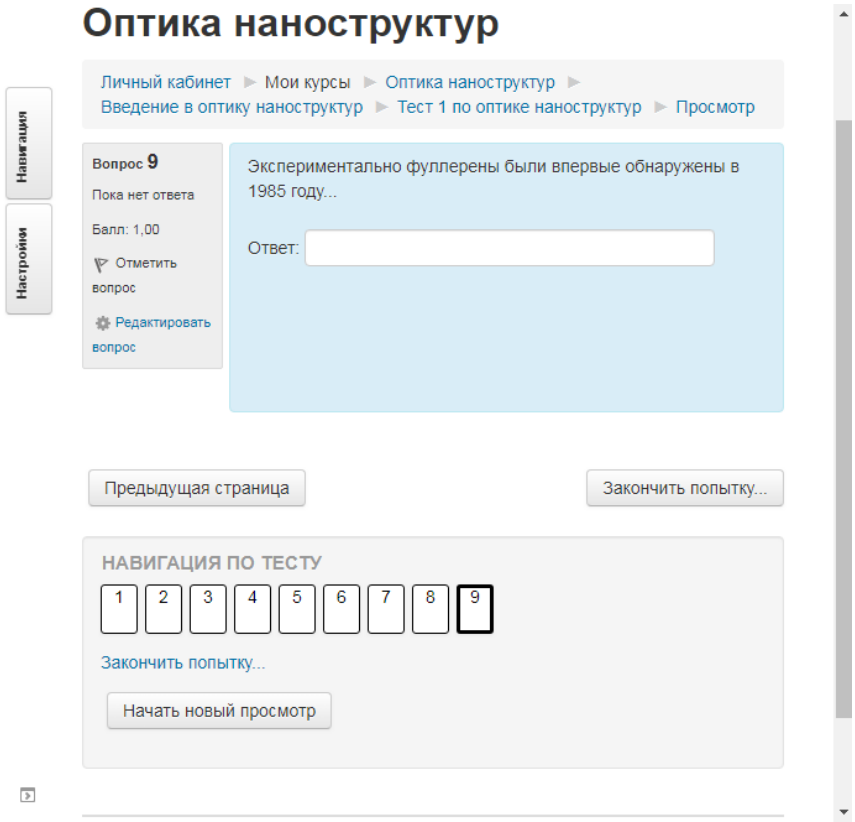


Рис. 15. Девятый вопрос из теста 1 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

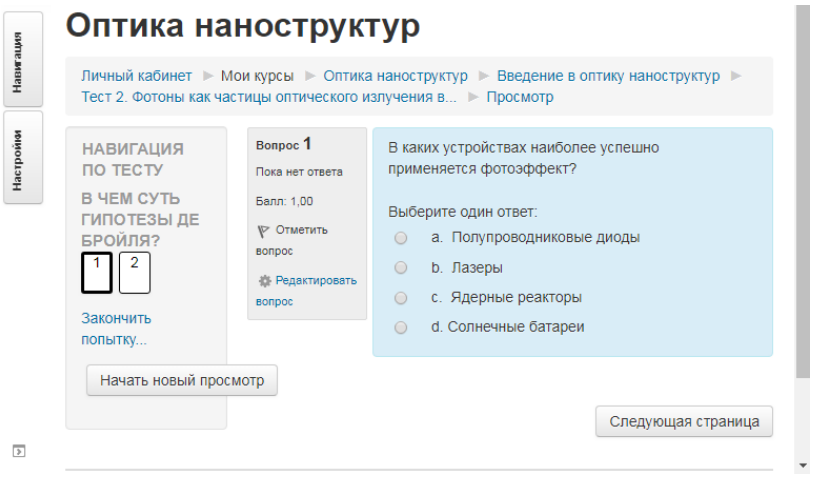


Рис. 16. Первый вопрос из теста 2 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

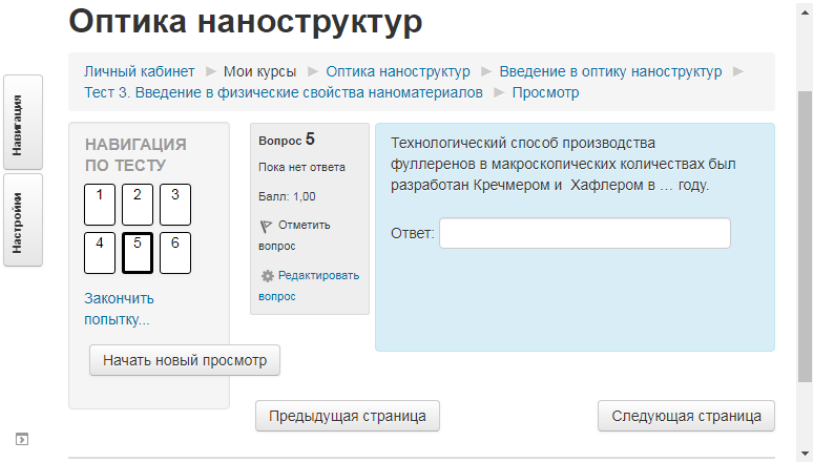


Рис. 17. Первый вопрос из теста 3 по первой теме курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

ны по оптике наноструктур имеет целый ряд преимуществ таких, как возможность выбора темпа и индивидуальной траектории изучения учебной дисциплины по оптике наноструктур.

Заключение

В работе решена задача проектирования модульной структуры и наполнения содержанием структуры дистанционного курса по оптике наноструктур в системе управления обучением MOODLE в соответствии с требованиями к электронным образовательным ресурсам на основе систематизированного, оцифрованного и структурированного учебного материала по оптическим свойствам наноструктур. Разработанная на основе оригинальных материалов теоретическая часть курса по оптике наноструктур позволяет организовать эффективное изучение оптики наноструктур. Разработанная модульная структура курса по оптике наноструктур позволяет организовать планомерное изучение курса за счёт поддержания темпа изучения курса средствами системы управления обучением MOODLE. Разработанный банк вопросов и заданий курса по оптике наноструктур позволяет организовать планомерный контроль в процессе изучения курса за счёт поддержания темпа изучения курса средствами системы управления обучением MOODLE.

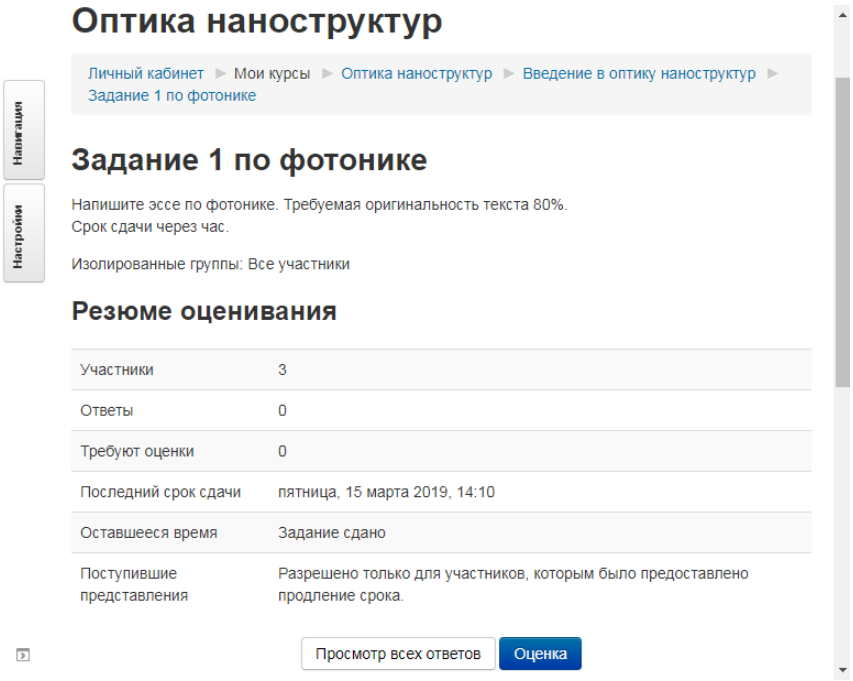


Рис. 18. Задание 1 по фотонике из первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

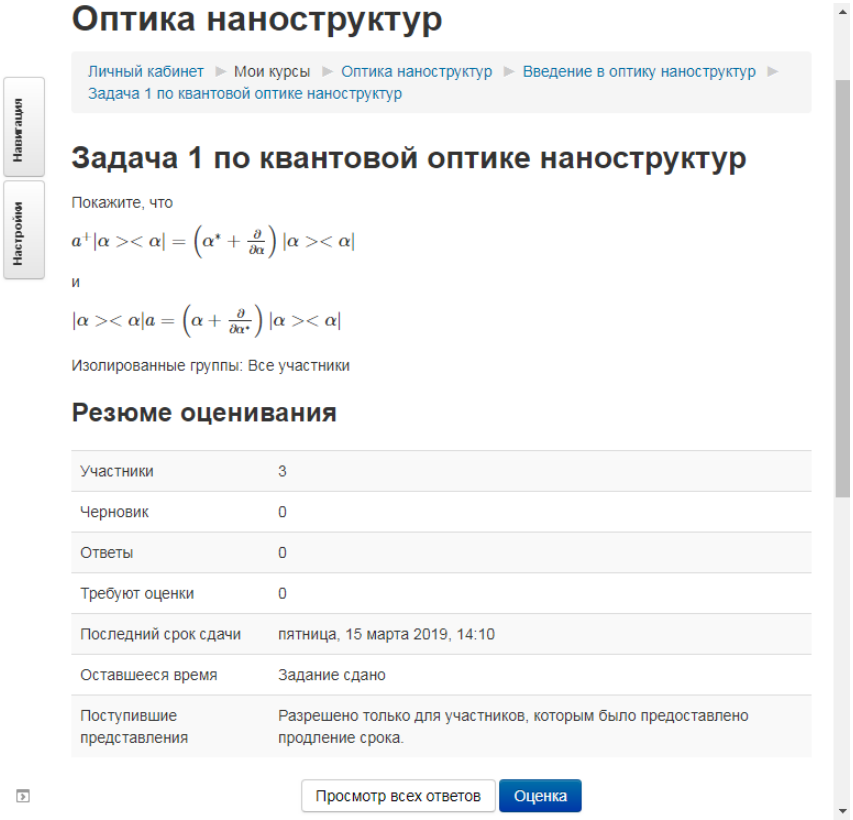


Рис. 19. Задача 1 по квантовой оптике наноструктур из первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

В работе развиты информационные методы поддержки изучении курса по оптике наноструктур. В качестве информационных методов контроля используем различные контролирующие компоненты системы управления обучением MOODLE. Новизна работы заключается в использовании оригинальных результатов по оптике наноструктур.

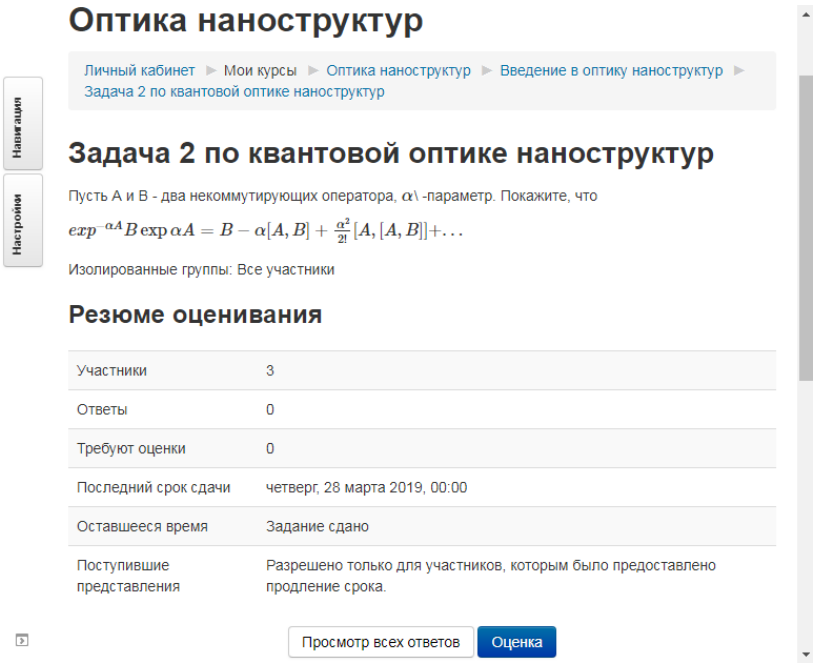


Рис. 20. Задача 2 по квантовой оптике наноструктур из первой темы курса “Оптика наноструктур” в системе управления обучением MOODLE.

Разработанный дистанционный курс по оптике наноструктур может быть использован в университетских программах бакалавриата и магистратуры педагогического направления подготовки со специализацией в области физики.

Список использованных источников

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Разработка и сравнение электронных курсов по физико-технологической тематике / К. К. Алтунин [и др.] // Наука online. — 2018. — № 4 (5). — С. 94–108. — URL: `http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2019/01/AltuninMakushkinaPodpolkovnikovaSerova4_2018.pdf`.

Сведения об авторах:

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

Development of elements of a distance course on the optics of nanostructures in the learning management system MOODLE

E. A. Grishanina

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted October 5, 2021
Resubmitted October 14, 2021
Published December 10, 2021

Abstract. The result of the development of elements of a distance course on the optics of nanostructures using the tools of the learning management system MOODLE is presented. Theoretical and methodological features of creating a distance course on the optics of nanostructures in the learning management system MOODLE with a system of tasks and tasks in a test form are considered. Computer methods of control of knowledge on the optics of nanostructures are used. The modular structure of the distance course on the optics of nanostructures in the learning management system MOODLE was designed in accordance with the requirements for electronic educational resources based on a systematized, digitized and structured educational material on the optical properties of nanostructures. The theoretical part of the course on the optics of nanostructures, developed on the basis of original materials, makes it possible to organize an effective study of the optics of nanostructures. The developed modular structure of the course on the optics of nanostructures makes it possible to organize a systematic study of the course by maintaining the pace of studying the course using the learning management system MOODLE. The developed bank of questions and tasks for the course on optics of nanostructures allows you to organize systematic control in the process of studying the course by maintaining the pace of studying the course using the learning management system MOODLE.

Keywords: optics, optics of nanostructures, distance course, learning management system, course element, problem, task

PACS: 01.40.-d

References

1. Altunin K. K. Development of an electronic educational resource at the university using Google Site and MOODLE tools // Volga region pedagogical search. — 2017. — no. 3 (21). — P. 116–124.

2. Altunin K. K., Konnova T. S. Study of information educational environments and electronic textbooks on the example of the topic “Photo effect” // In the proceedings: Topical issues of teaching technical disciplines Proceedings of the All-Russian Correspondence Scientific and Practical Conference. — 2016. — P. 11–16.

3. Altunin K. K. Development and implementation of an electronic course on nanooptics // In the proceedings: Actual problems of physical and functional electronics materials of the 19th All-Russian Youth Scientific School-Seminar. — 2016. — P. 128–129.

4. Development and comparison of electronic courses on physical and technological topics / K. K. Altunin [et al.] // Science online. — 2018. — no. 4(5). — P. 94–108. — URL: `http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2019/01/AltuninMakushkinaPodpolkovnikovaSerova4_2018.pdf`.

Information about authors:

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 372.853
ББК 74.489
ГРНТИ 14.35.09
ВАК 13.00.02

Разработка дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE

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 28 сентября 2021 года
После переработки 18 октября 2021 года
Опубликована 10 декабря 2021 года

Аннотация. Рассматриваются результаты разработки дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. Проведено описание основных функциональных возможностей дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением MOODLE. Обсуждаются возможности модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике. Дистанционный курс по современной наноплазмонике посвящён изучению физических основ теории наноплазмонных процессов.

Ключевые слова: наноплазмоника, плазмон, поляритон, дистанционный курс, система управления обучением, элемент курса, элемент контроля знаний

PACS: 01.40.gf

Введение

Рассматриваются результаты разработки дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. Проведено описание основных функциональных возможностей дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением MOODLE. Обсуждаются возможности модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике.

Актуальность работы обусловлена необходимостью улучшения наглядности материала в курсе наноплазмоники. Специфика дистанционного курса не предполагает наглядных экспериментов, иллюстрирующих физические процессы, поэтому для лучшего усвоения материала возможно использование программных средств, упрощающих понимание явлений наноплазмоники.

Целью исследования является описание процесса разработки дистанционного курса «Современная наноплазмоника».

Задача исследования состоит в разработке модульной структуры и материалов дистанционного курса «Современная наноплазмоника» в системе управления обучением MOODLE.

[1] E-mail: liza_volkova1999@mail.ru

Объектом исследования является дистанционный курс «Современная наноплазмоника». Предметом исследования является процесс создания информационных и контролирующих элементов дистанционного курса «Современная наноплазмоника» в системе управления обучением MOODLE.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать дистанционный курс «Современная наноплазмоника» в системе MOODLE, то можно облегчить труд преподавателя в процессе преподавания учебной дисциплины «Современная наноплазмоника».

Дистанционный курс по современной наноплазмонике посвящён изучению физических основ теории наноплазмонных процессов.

Обзор работ по свойствам плазмонных материалов

Возбуждаемые оптическими методами поверхностные плазмоны стали использоваться в процессе зондирования для анализа металлических поверхностей [1, 2]. Чувствительность метода основана на том факте, что электромагнитная волна, связанная с поверхностными плазменными колебаниями, ограничивается узкой областью, близкой к металлической поверхности [3]. Поверхностные плазмоны требуют особых условий возбуждения. Например, в конфигурации Кретчмана, световой луч испытывает полное внутреннее отражение в призме, на которую осаждают металлическую плёнку, и запускает генерацию поверхностных плазмонов [3].

В металлической плёнке с отверстиями поверхностные плазмоны могут быть возбуждены при нормальном падении светового пучка [4].

Для получения металлического слоя, вмещающего множество отверстий с субволновым размером, можно исследовать поверхностные плазмоны просто измерением интенсивности прошедшего света. Такая простая конфигурация является гораздо более практичной в контексте использования в оптоэлектронных чипах, и она широко изучается с пионерской работы Эббесена и других авторов в 1998 году [4].

Разработка эффективных и перестраиваемых (по энергии фотонов и направленности поляризации) наноразмерных излучателей света является главной задачей для нанофотоники. Поле плазмонных метаматериалов унаследовало бесценное наследие от атомной физики для интерпретации нетривиальных спектральных форм линий.

Свойства локализованных плазмонов критически зависят от формы наночастиц [5], что позволяет настраивать систему их резонансов на эффективное взаимодействие со светом или элементарными квантовыми системами.

В большинстве практически значимых случаев важной является возможность управления оптическими свойствами плазмонных структур, например, их коэффициентами отражения и прохождения. К настоящему времени предложено значительное количество методов такого активного управления посредством внешнего воздействия. В качестве внешнего воздействия применяются электрическое или магнитное поля, нагрев материалов, акустические волны и др. Зависимость оптических свойств плазмонных структур от внешнего воздействия может использоваться в различных сенсорах: магнитного поля и акустических колебаний.

Из-за способности концентрировать свет в субволновых нанообъектах, поверхностные плазмон-поляритоны представляют особый интерес для нелинейной оптики, где плотности мощности снижают нелинейные пороги. Искусственно структурированные метаматериалы, содержащие плазмонные компоненты предлагают перспективный путь к повышению нелинейности оптических процессов.

В большинстве исследованных до сих пор нелинейных плазмонных конфигурациях, предполагается, что диэлектрическую составляющую обеспечивает доминирующая нелинейная реакция системы. Однако металлы, как известно, имеют относительно боль-

шие нелинейные восприимчивости, что делает поверхностные плазмон-поляритоны внутренне нелинейными возбуждениями. Нелинейный отклик металлов является сложным откликом на излучение с разным механизмом, зависящим от временного масштаба, по которому исследуется реакция системы на излучение.

В [6] показано, что оптический коэффициент пропускания через периодически модулированную металлическую плёнку сильно усиливается, когда падающая оптическая волна находится в резонансе с поверхностными плазмон-поляритонами в плёнке. Аналитические уравнения описывающие резонансный коэффициент пропускания, коэффициент отражения и поглощение. Явная зависимость коэффициента пропускания, коэффициента отражения и коэффициента поглощения от диэлектрической проницаемости пленки, её толщины и модуляции получается и анализируется. Разработанный подход включает нелинейные эффекты и описывает случай когда свойства плёнки зависят от интенсивности падающего света. Средство для стимулирования и контроля предлагается и обсуждается с учётом необычного оптического коэффициента пропускания с самим светом. Предполагается, что оптическая бистабильность может возникать в модулированной металлической плёнке.

Отрицательный показатель преломления может быть реализован для поверхностных поляритонов при наличии переходных слоёв [7].

Недавно прогресс в области наноплазмоники [8–10] дал возможность контролировать поток электромагнитного излучения. Используя свойство поверхностных плазмон-поляритонов, существующих на металлических поверхностях, было достигнуто субволновое регулирование электромагнитных волн, что привело к перспективным применениям, таким как наномасштабные плазмонные кристаллы [8] и нанолазеры [10].

В последнее время появились экспериментальные работы, связанные с существованием цилиндрических поверхностных плазмон-поляритонов, хотя теоретические исследования проведены достаточно давно [11, 12]. В [13] экспериментально реализован плазмонный резонатор на нанопроволоке, в [14] экспериментально изучали плазмонные моды в наноцилиндрах из золота, в [15] продемонстрирована возможность создания метаматериала с отрицательным преломлением в видимой области спектра как результат плазмонного резонанса в парах наноцилиндров. В то же время отрицательный показатель преломления может быть реализован для поверхностных поляритонов при наличии переходных слоёв [7].

Действующие в системе оптические силы могут быть значительно усилены, если использовать поверхностные плазмонные поляритоны на границах металл-диэлектрик [16, 17].

Результаты разработки элементов дистанционного курса по современной наноплазмонике

В работе рассматривается процесс создания дистанционного курса по современной наноплазмонике, которая основана на системе управления обучением MOODLE. Применение формата MOODLE на проблемно-ориентированной основе обеспечивает прозрачность результатов, включая тестирование в формате активного, операционального, рефлексивного обучения.

Электромагнитные колебания, известные как поверхностные плазмоны, обладают многими уникальными свойствами, которые полезны для широкого спектра применений в биологии, химии, физике и оптике. Область наноплазмоники возникла для понимания поведения поверхностных плазмонов и для разработки приложений в таких областях, как катализ, визуализация, фотоэлектрические и зондирования. В частности, для использования плазмонных резонансов были разработаны металлические нанопластины и узорчатые металлические интерфейсы. Целью данного курса является предоставление

базовых знаний для понимания и применения принципов наноплазмоники. Курс будет стремиться быть доступным для студентов из разных научных и инженерных кругов.

С учётом существующих тенденций перспективным в области фундаментального образования является организация учебного процесса с использованием такой обучающей среды, как MOODLE. Эта информационная среда позволяет доставлять и репрезентировать учебный контент, содержащий и разнообразные контрольно-измерительные материалы по физике, в места реального расположения обучаемых. Их включение в образовательный процесс позволяет модернизировать одну из основных тенденций — смену формата «система образования» на «сферу образования».

Основной подход к изучению современной наноплазмоники с использованием информационных технологий заключается в увеличении визуально воспринимаемой студентом информации посредством использования электронного образовательного ресурса в процессе изучения современной наноплазмоники в университете.

Дистанционный курс по современной наноплазмонике посвящён изучению физических основ теории наноплазмонных процессов.

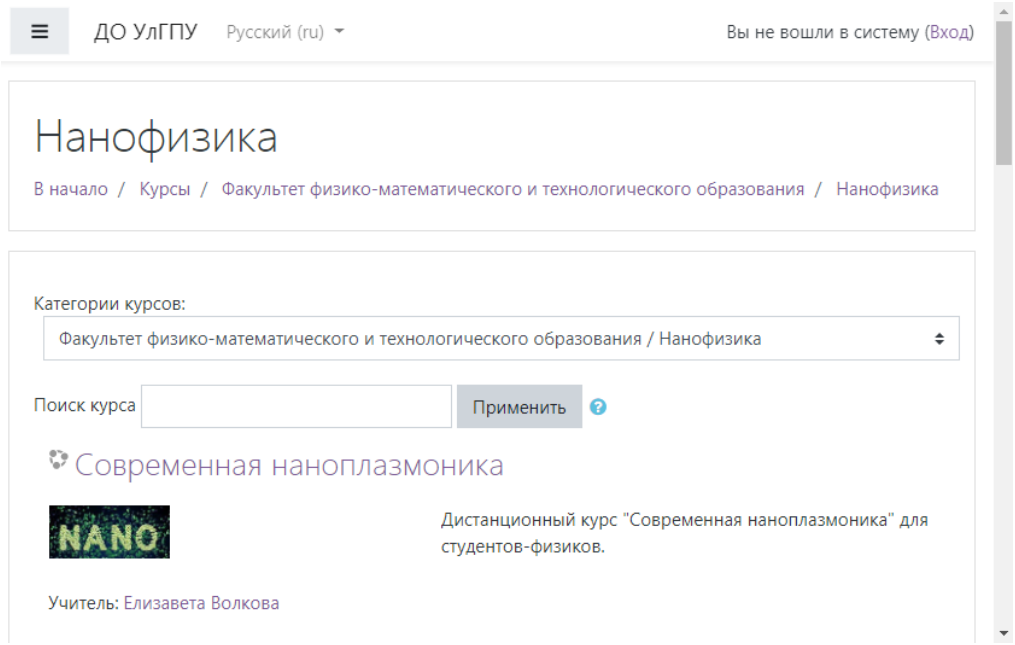


Рис. 1. Входная страница дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение входной страницы дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение первой части структуры модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

Дистанционный курс по современной наноплазмонике представляет собой совокупность гипертекстовых страниц, в которых заключен необходимый теоретический материал, справочные таблицы, рисунки, справочные материалы по современной наноплазмонике, тесты и элементы навигации средствами системы управления обучение MOODLE. Для более глубокого изучения тем можно воспользоваться источниками, приведёнными в списке рекомендуемой литературы, и гиперссылками на внутренние и внешние источники информации в глобальной сети Интернет. По основным терминам и определениям дистанционный курс по современной наноплазмонике содержит

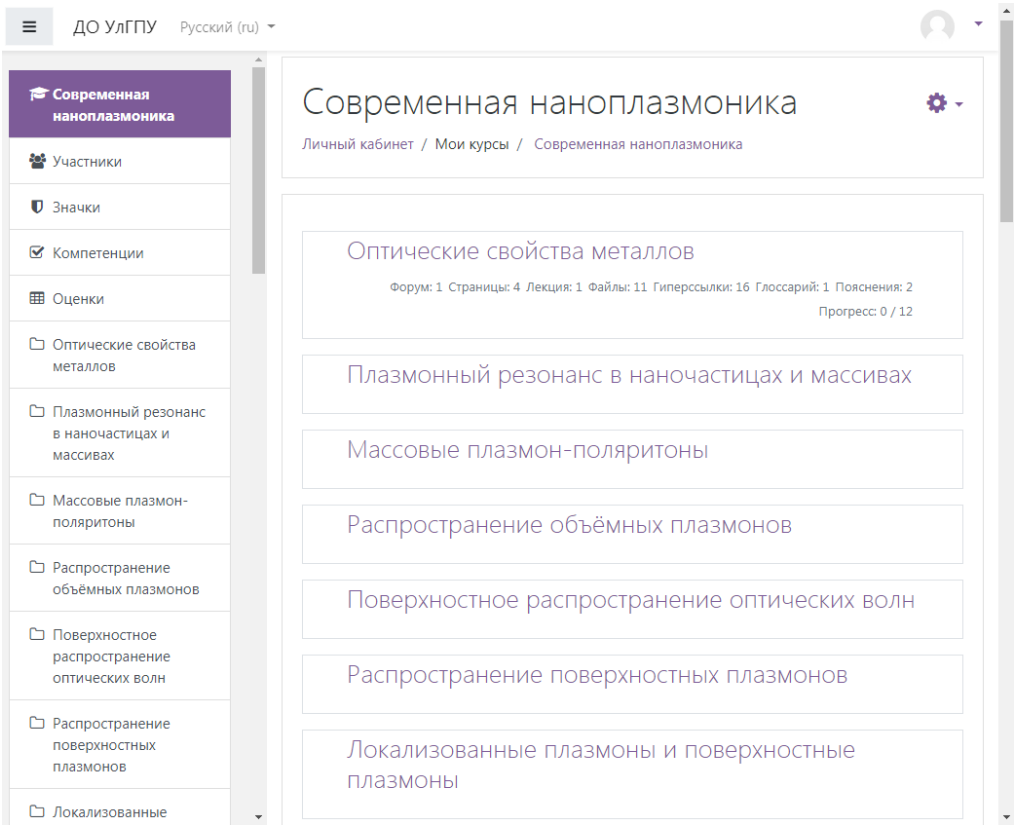


Рис. 2. Первая часть модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

гиперссылки на статьи глоссария. Весь теоретический материал по современной наноплазмонике можно разделены на темы, а каждая из тем, в свою очередь, делится на модули. В свою очередь модули могут подразделяться на подтемы.

На рис. 3 приведено изображение второй части структуры модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

На рис. 4 приведено изображение первой части элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 5 приведено изображение второй части элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение части элементов темы по локализованным плазмонам в наноструктурах в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

Изображение лекции по локализованным плазмонам на границе раздела с наноструктурной средой в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE показано на рис. 7.

В дистанционном курсе по современной наноплазмонике приведены примеры решения задач, задачи с ответами для самостоятельного решения и задачи без ответов для проведения проверочных и контрольных работ. Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по современной наноплазмонике включает элементы, содержащие следующие учебные элементы: необходимый теоретический материал, дидактические материалы к занятиям, ряд заданий для самостоятельной работы, гиперссылки на рекомендуемые учебные издания и учебники по физике, гиперссылки на внешние электронные источники информации. Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по современной наноплазмонике включает элементы, содержащие следующие контролирующие элементы:

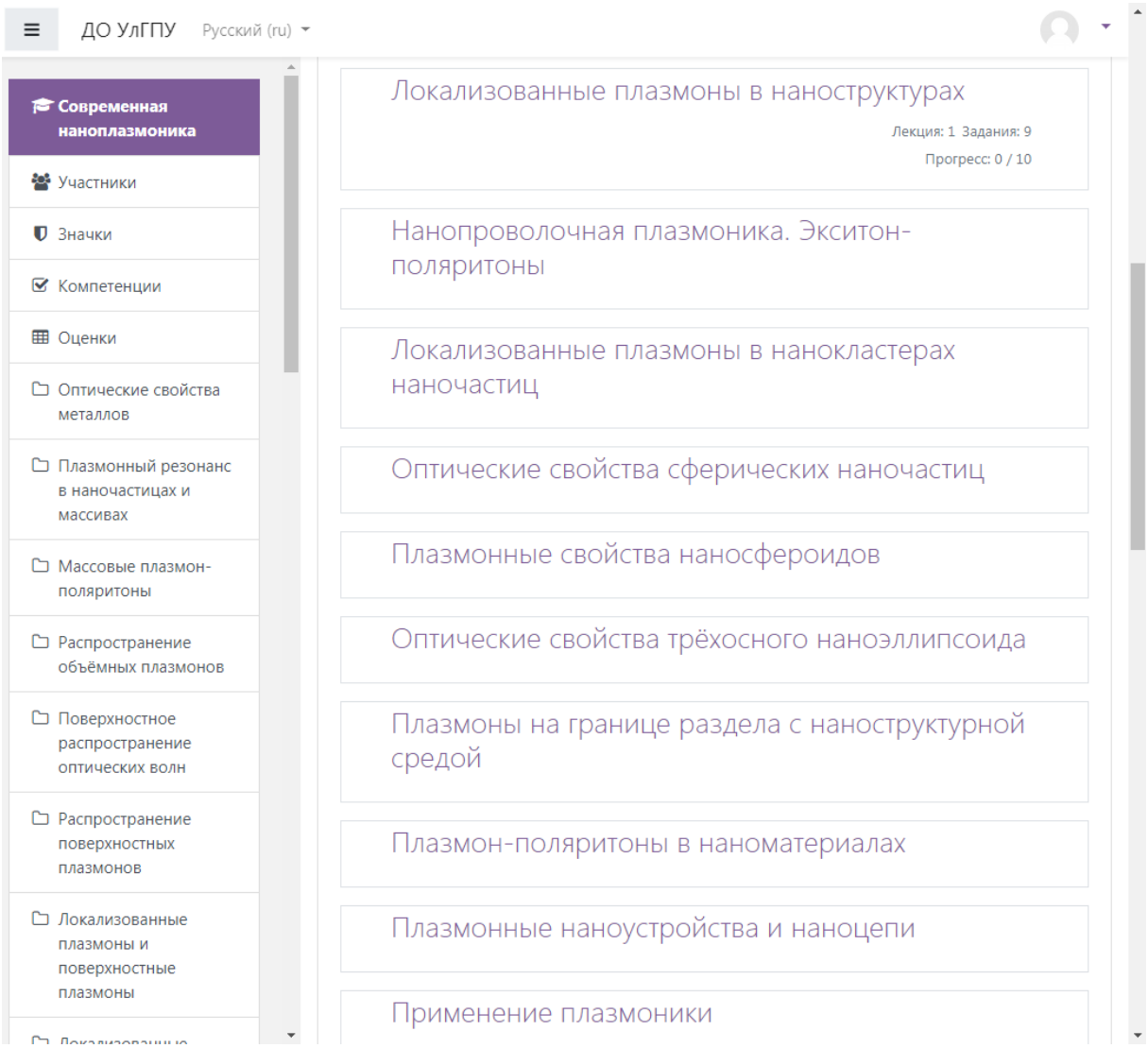


Рис. 3. Вторая часть модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

тестовые задания для организации промежуточного и итогового контроля по современной наноплазмонике.

Рассмотрим результаты разработки элементов контроля в дистанционном курсе по современной наноплазмонике в системе MOODLE. Под проектированием дистанционного курса по современной наноплазмонике понимают процесс разработки дистанционного курса, в котором активно используются автоматизированные методы контроля в ходе продвижения при изучении курса по современной наноплазмонике. Структура дистанционного курса по современной наноплазмонике включает в себя специальным образом сформированные модули, содержащие тематические связанные материалы и элементы контроля в виде тестов, задач и заданий. На первом этапе создания дистанционного курса производится определение целей и задач, которые необходимо реализовать в процессе проектирования курса. На втором этапе создания дистанционного курса производится разработка структуры курса в строгом соответствии с выбранной тематикой и объёмом курса по современной наноплазмонике. На третьем этапе создания дистанционного курса производится разработка содержания блоков электронного курса по модулям и темам. На четвёртом этапе создания дистанционного курса производится визуализация полученном структуры в наглядном виде для планомерного контроля наполнения различных модулей и тем курса по современной наноплазмони-

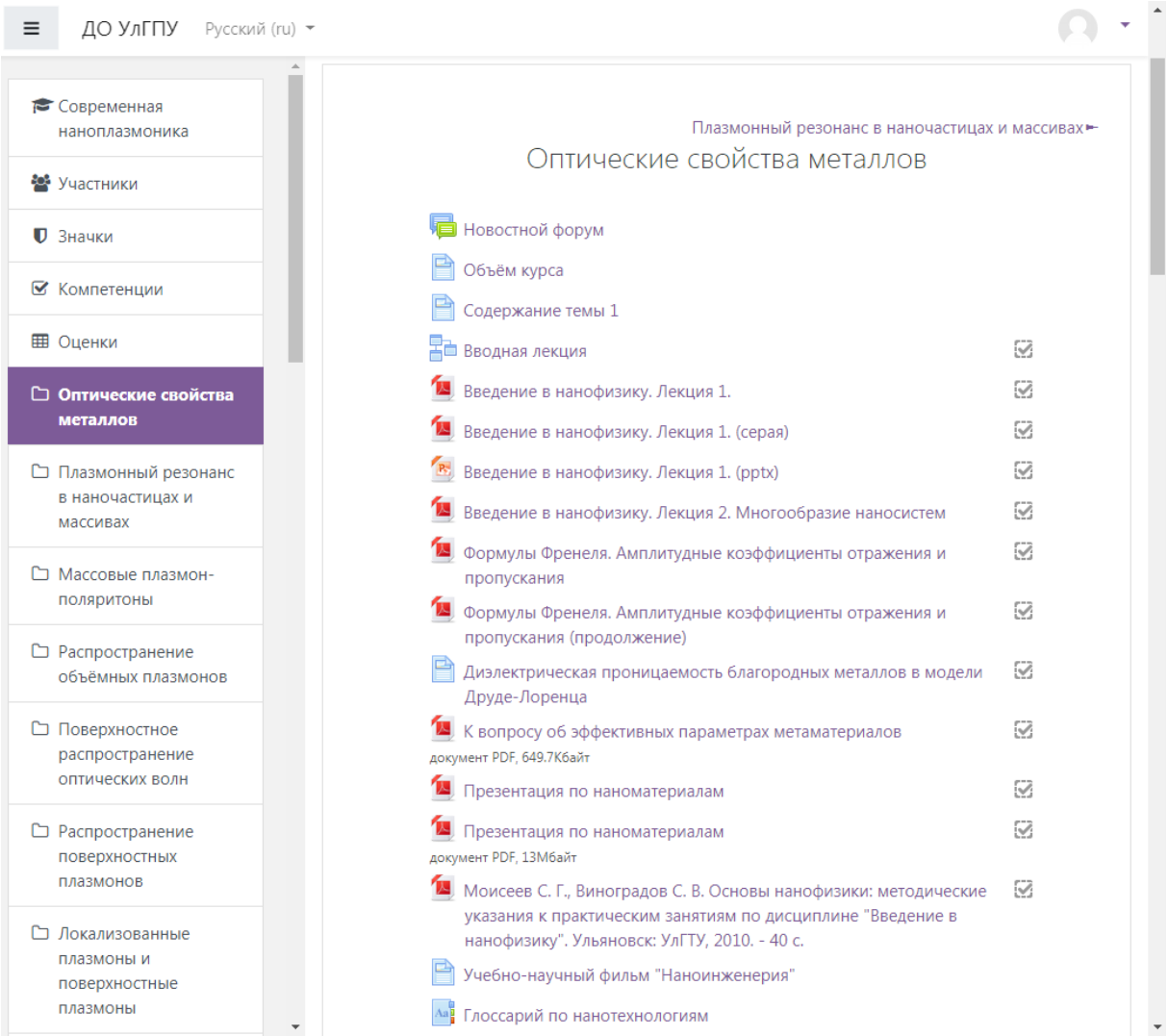


Рис. 4. Первая часть элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

ке. На пятом этапе создания дистанционного курса производится поиск программного обеспечения для разработки дистанционного курса и его создание. Дизайн дистанционного курса выполнен средствами системы управления обучением MOODLE. На шестом этапе создания дистанционного курса производится разработка методических рекомендаций для пользователя ресурса. На седьмом этапе создания дистанционного курса производится наполнение модулей элементами и отладка элементов. На восьмом этапе создания дистанционного курса производится разработка банка тестовых вопросов и заданий по курсу современной наноплазмоники, компоновка тестов по темам и модулям. На девятом этапе создания дистанционного курса производится апробация курса в учебном процессе. На десятом этапе создания дистанционного курса по современной наноплазмонике производится корректирование содержания и выявление недостатков дистанционного курса.

Использование дистанционных курсов решает проблему систематизации теоретического материала, задач и заданий, а также обеспечивает планомерную выдачу заданий, последовательный контроль и даёт рациональный подход в преподавании современной наноплазмоники. Применение электронных образовательных ресурсов по современной наноплазмонике обеспечивает обучение студентов университета в удобном темпе и выбранном уровне материала.

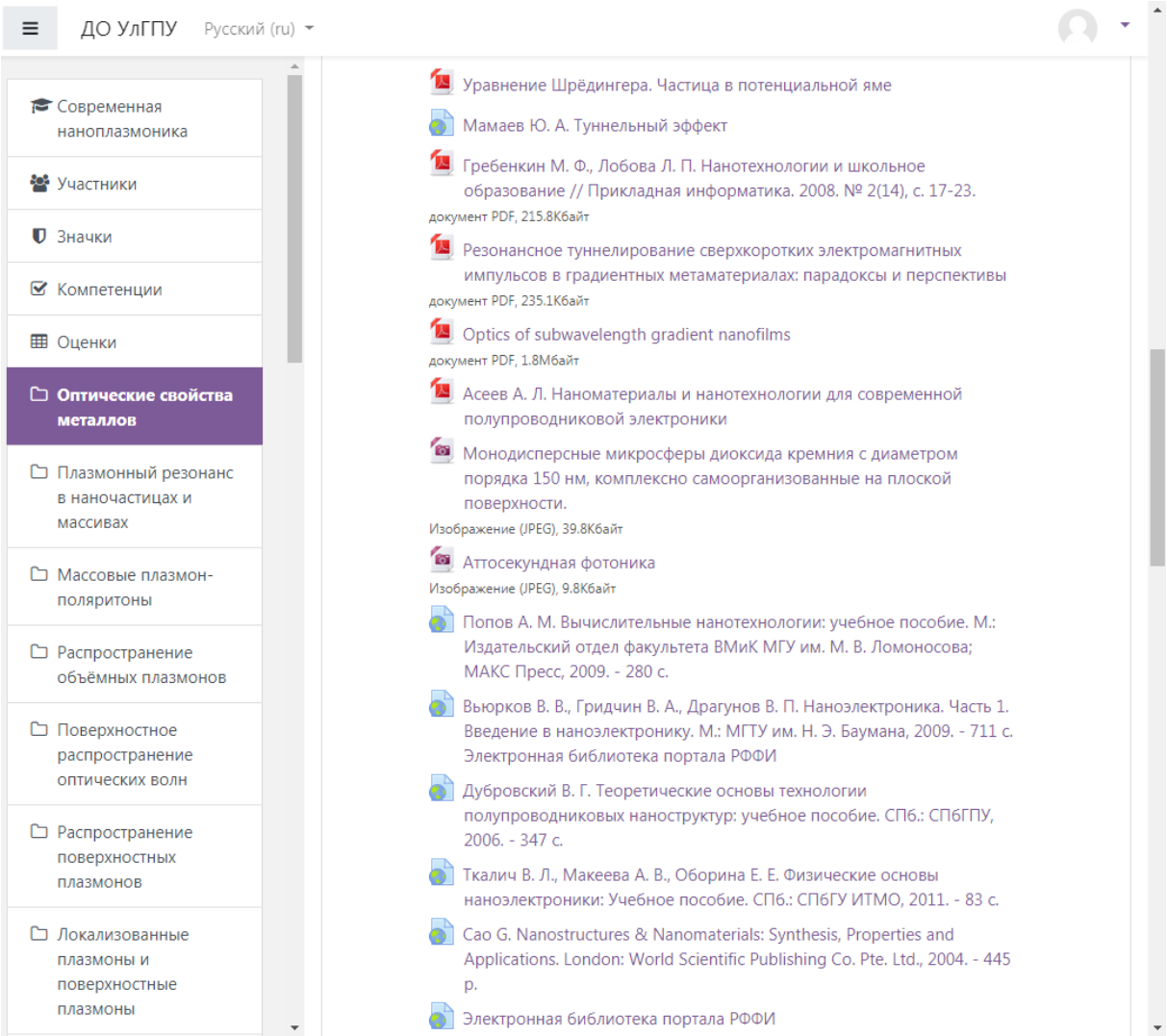


Рис. 5. Вторая часть элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

Дистанционные курсы позволяют успешно решать задачи построения индивидуальных образовательных траекторий для обучающихся. При использовании дистанционных курсов, онлайн-курсов, электронных курсов и электронных образовательных ресурсов следует выделить возможности, связанные с электронной природой ресурса, которая позволяет проводить электронное обучение и мобильное обучение с помощью привычных для обучающихся информационно-коммуникационных технологий.

Рассмотрены возможности элементов дистанционного курса по современной наноплазмонике. По итогам сделанного описания дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE можно сделать вывод о наличии элементов для эффективного контроля знаний по современной наноплазмонике в составе дистанционного курса.

Заключение

Разработан дистанционный курс по современной наноплазмонике, который готов к началу использования в учебном процессе в педагогического университета по специальностям физико-математического профиля подготовки. Дистанционный курс по современной наноплазмонике способствует интенсификации учебного процесса и более осмысленному изучению материала, приобретению навыков самоорганизации и превра-

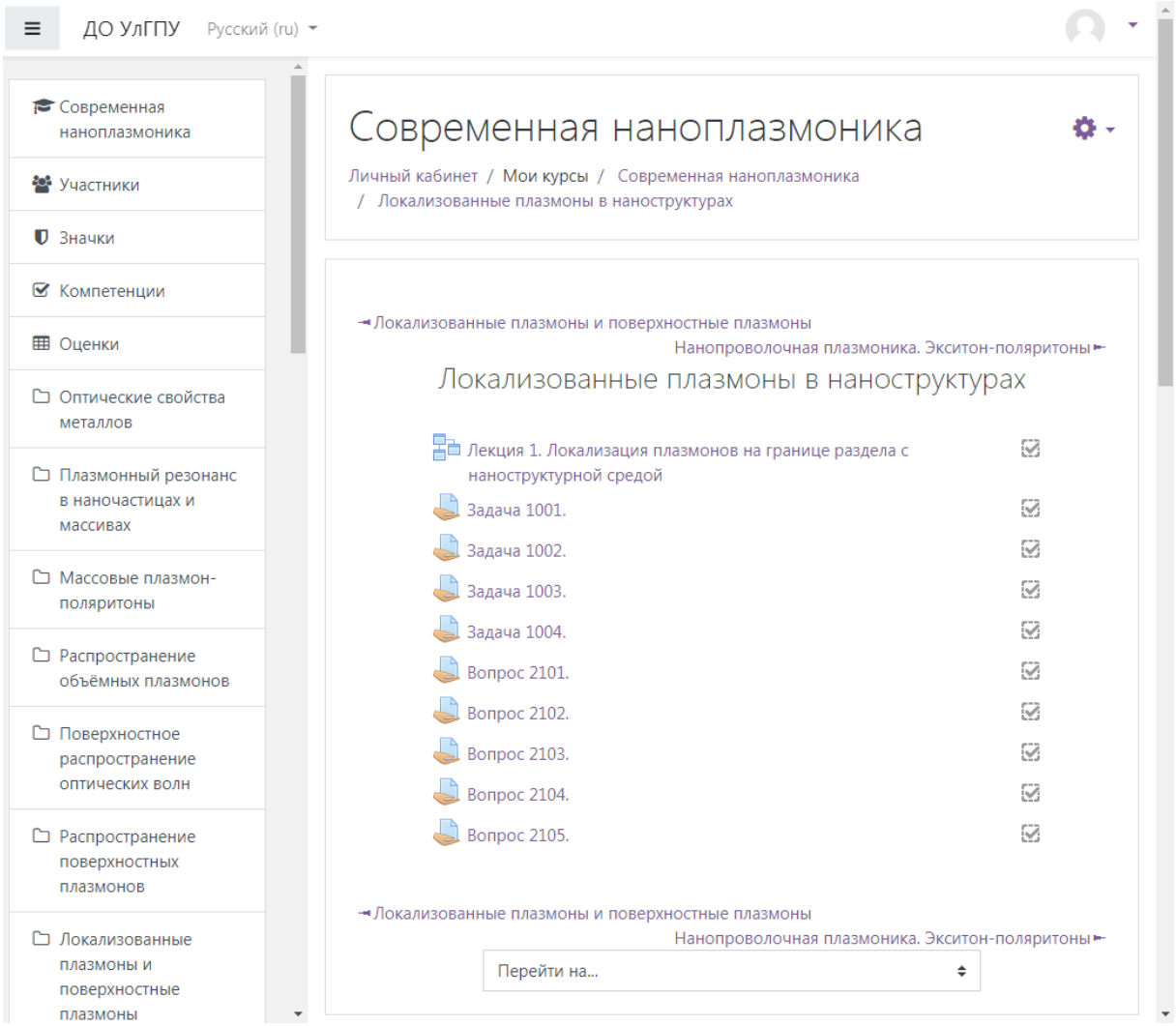


Рис. 6. Элементы темы по локализованным плазмонам в наноструктурах в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

щению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучаемых и интереса к предмету. Созданный в работе дистанционный курс по современной наноплазмонике позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по современной наноплазмонике.

В работе проведено всестороннее исследование дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. В работе описан результат разработки дистанционного курса «Современная наноплазмоника», который готов к началу использования в учебном процессе в университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по наноплазмонике. Дистанционный курс «Современная наноплазмоника», созданный в системе управления обучением MOODLE, способствует систематизации хранения учебного материала по теоретической наноплазмонике. При изучении курса «Современная наноплазмоника» система дистанционного обучения MOODLE привносит то, что кроме основного курса по изучаемой дисциплине, используется материал для подготовки в домашних условиях, который позволяет расширить учебное содержание, а также провести дифференциацию учебного материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами студентов, изучающих курс. В качестве подтверждения гипотезы исследования спроектирован дистанционный курс «Современная наноплазмоника», позволяющий проводить обучение теоретическим

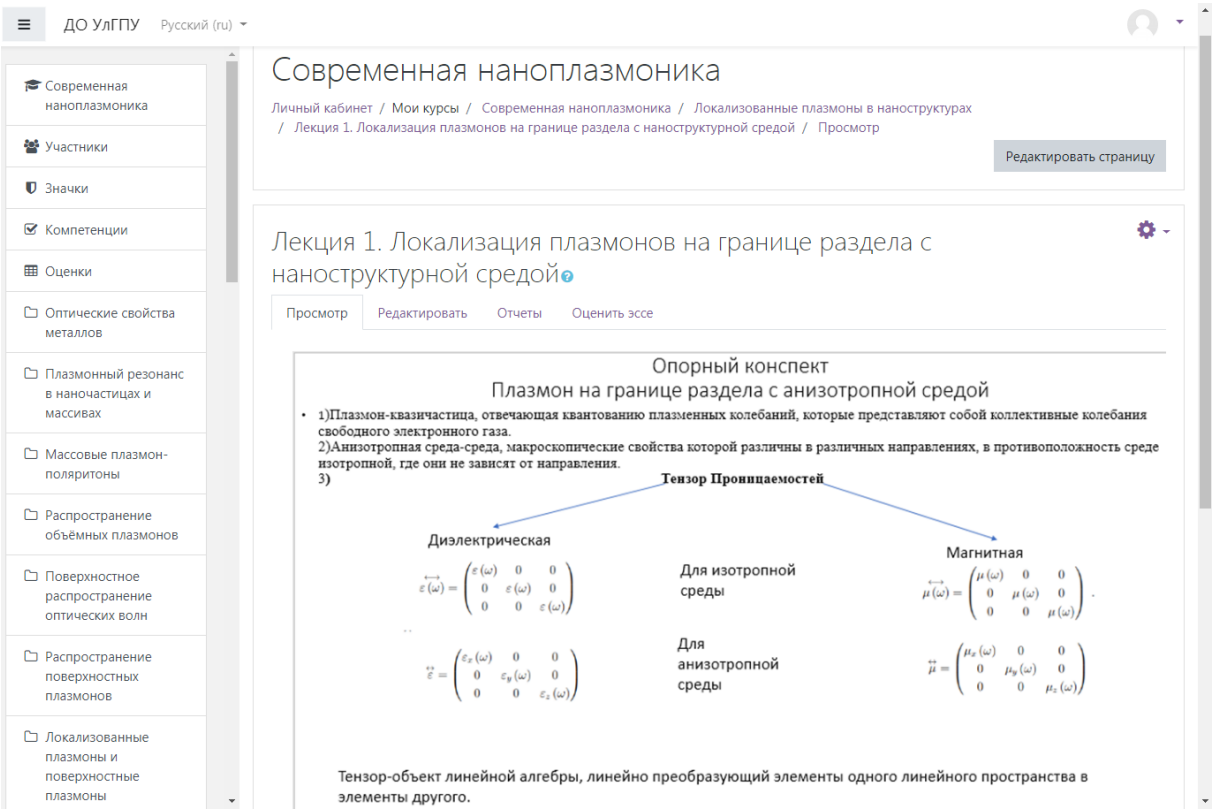


Рис. 7. Лекция по локализованным плазмонам на границе раздела с наноструктурной средой в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

основам наноплазмоники по традиционной, смешанной и дистанционной формам обучения с применением компьютеров.

Дистанционный курс «Современная наноплазмоника», созданный в системе управления обучением MOODLE, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя в процессе преподавания учебных дисциплин физико-математической направленности. Созданный дистанционный курс «Современная наноплазмоника» позволит планировать, организовывать и проводить изучение теоретического материала курса по наноплазмонике в дистанционной или смешанной форме обучения. Разработанный курс «Современная наноплазмоника» может занять особое место среди дистанционных курсов по физико-математической тематике, предназначенных для студентов физико-математических профилей подготовки университетов.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать дистанционный курс «Современная наноплазмоника» в системе управления обучением MOODLE, то можно облегчить труд преподавателя в процессе преподавания учебной дисциплины, подтверждена полностью.

Использование дистанционного курса по современной наноплазмонике способствует интенсификации учебного процесса и более осмысленному изучению материала, приобретению навыков самоорганизации и превращению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучаемых и интереса к предмету. Созданный в работе дистанционный курс позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по современной наноплазмонике.

Список использованных источников

1. Eagen C. F., Weber W. H. Modulated surface-plasmon resonance for adsorption studies // Phys. Rev. B. — 1979. — may. — Vol. 19, no. 10. — P. 5068–5082. — URL: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.19.5068.

2. Herminghaus S., Leiderer P. Nanosecond time-resolved study of pulsed laser ablation in the monolayer regime // Appl. Phys. Lett. — 1991. — Vol. 58, no. 4. — P. 352. — URL: http://dx.doi.org/10.1063/1.104631.

3. Raether H. Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings. Springer tracts in modern physics. — New York : Springer-Verlag, 1988. — 136 p. — ISBN: 3540173633.

4. Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays / T. W. Ebbesen [et al.] // Nature. — 1998. — feb. — Vol. 391, no. 6668. — P. 667–669. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/35570.

5. Metal-enhanced fluorescence of colloidal nanocrystals with nanoscale control / P. P. Pompa [et al.] // Nature Nanotech. — 2006. — nov. — Vol. 1, no. 2. — P. 126–130. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2006.93.

6. Dykhne A. M., Sarychev Andrey K., Shalaev Vladimir M. Resonant transmittance through metal films with fabricated and light-induced modulation // Physical Review B. — 2003. — may. — Vol. 67, no. 19. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevb.67.195402.

7. Agranovich V. M., Mills D. L. Surface polaritons: electromagnetic waves at surfaces and interfaces. — North-Holland, Amsterdam : Elsevier Science Ltd, 1982. — 734 p. — ISBN: 978-0444861658.

8. Ozbay E. Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions // Science. — 2006. — jan. — Vol. 311, no. 5758. — P. 189–193. — URL: https://doi.org/10.1126/science.1114849.

9. Maier S. A. Plasmonics: fundamentals and applications. — Berlin : Springer US, 2007. — P. 224. — URL: https://doi.org/10.1007/0-387-37825-1.

10. Plasmon lasers at deep subwavelength scale / R. F. Oulton [et al.] // Nature. — 2009. — aug. — Vol. 461, no. 7264. — P. 629–632. — URL: https://doi.org/10.1038/nature08364.

11. Ashley J. C., Emerson L. C. Dispersion relations for non-radiative surface plasmons on cylinders // Surface Science. — 1974. — feb. — Vol. 41, no. 2. — P. 615–618. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/0039-6028(74)90080-6.

12. Pfeiffer C. A., Economou E. N., Ngai K. L. Surface polaritons in a circularly cylindrical interface: Surface plasmons // Phys. Rev. B. — 1974. — oct. — Vol. 10, no. 8. — P. 3038–3051. — URL: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.10.3038.

13. Silver nanowires as surface plasmon resonators / H. Ditlbacher [et al.] // Phys. Rev. Lett. — 2005. — dec. — Vol. 95, no. 25. — URL: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.257403.

14. Okamoto H., Imura K. Near-field optical imaging of localized plasmon resonances in metal nanoparticles // Molecular Nano Dynamics. — Wiley-Blackwell, 2009. — P. 39–54. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/9783527627820.ch3.

15. Negative index of refraction in optical metamaterials / V. M. Shalaev [et al.] // Optics Letters. — 2005. — dec. — Vol. 30, no. 24. — P. 3356. — URL: http://dx.doi.org/10.1364/OL.30.003356.

16. Surface Plasmon Radiation Forces / G. Volpe [et al.] // Physical Review Letters. — 2006. — jun. — Vol. 96, no. 23. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevlett.96.238101.

17. Quidant R., Girard C. Surface-plasmon-based optical manipulation // Laser & Photonics Review. — 2008. — apr. — Vol. 2, no. 1-2. — P. 47–57. — URL: https://doi.org/10.1002/lpor.200710038.

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 a distance course on modern nanoplasmonics in the learning management system MOODLE

E. E. Volkova

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted September 28, 2021
Resubmitted October 18, 2021
Published December 10, 2021

Abstract. The results of the development of a distance course on modern nanoplasmonics in the learning management system MOODLE are considered. The description of the main functionality of the distance course on modern nanoplasmonics, created in the learning management system MOODLE, is carried out. The possibilities of the modular structure of the distance course on modern nanoplasmonics are discussed. Distance course on modern nanoplasmonics is devoted to the study of the physical foundations of the theory of nanoplasmonic processes.

Keywords: nanoplasmonics, plasmon, polariton, distance course, learning management system, course element, knowledge control element

PACS: 01.40.gf

References

1. Eagen C. F., Weber W. H. Modulated surface-plasmon resonance for adsorption studies // Phys. Rev. B. — 1979. — may. — Vol. 19, no. 10. — P. 5068–5082. — URL: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.19.5068.

2. Herminghaus S., Leiderer P. Nanosecond time-resolved study of pulsed laser ablation in the monolayer regime // Appl. Phys. Lett. — 1991. — Vol. 58, no. 4. — P. 352. — URL: http://dx.doi.org/10.1063/1.104631.

3. Raether H. Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings. Springer tracts in modern physics. — New York : Springer-Verlag, 1988. — 136 p. — ISBN: 3540173633.

4. Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays / T. W. Ebbesen [et al.] // Nature. — 1998. — feb. — Vol. 391, no. 6668. — P. 667–669. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/35570.

5. Metal-enhanced fluorescence of colloidal nanocrystals with nanoscale control / P. P. Pompa [et al.] // Nature Nanotech. — 2006. — nov. — Vol. 1, no. 2. — P. 126–130. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2006.93.

6. Dykhne A. M., Sarychev Andrey K., Shalaev Vladimir M. Resonant transmittance through metal films with fabricated and light-induced modulation // Physical Review B. — 2003. — may. — Vol. 67, no. 19. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevb.67.195402.

7. Agranovich V. M., Mills D. L. Surface polaritons: electromagnetic waves at surfaces and interfaces. — North-Holland, Amsterdam : Elsevier Science Ltd, 1982. — 734 p. — ISBN: 978-0444861658.

8. Ozbay E. Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions // Science. — 2006. — jan. — Vol. 311, no. 5758. — P. 189–193. — URL: https://doi.org/10.1126/science.1114849.

9. Maier S. A. Plasmonics: fundamentals and applications. — Berlin : Springer US, 2007. — P. 224. — URL: https://doi.org/10.1007/0-387-37825-1.

10. Plasmon lasers at deep subwavelength scale / R. F. Oulton [et al.] // Nature. — 2009. — aug. — Vol. 461, no. 7264. — P. 629–632. — URL: https://doi.org/10.1038/nature08364.

11. Ashley J. C., Emerson L. C. Dispersion relations for non-radiative surface plasmons on cylinders // Surface Science. — 1974. — feb. — Vol. 41, no. 2. — P. 615–618. — URL: http://dx.doi.org/10.1016/0039-6028(74)90080-6.

12. Pfeiffer C. A., Economou E. N., Ngai K. L. Surface polaritons in a circularly cylindrical interface: Surface plasmons // Phys. Rev. B. — 1974. — oct. — Vol. 10, no. 8. — P. 3038–3051. — URL: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.10.3038.

13. Silver nanowires as surface plasmon resonators / H. Ditlbacher [et al.] // Phys. Rev. Lett. — 2005. — dec. — Vol. 95, no. 25. — URL: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.257403.

14. Okamoto H., Imura K. Near-field optical imaging of localized plasmon resonances in metal nanoparticles // Molecular Nano Dynamics. — Wiley-Blackwell, 2009. — P. 39–54. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/9783527627820.ch3.

15. Negative index of refraction in optical metamaterials / V. M. Shalaev [et al.] // Optics Letters. — 2005. — dec. — Vol. 30, no. 24. — P. 3356. — URL: http://dx.doi.org/10.1364/OL.30.003356.

16. Surface Plasmon Radiation Forces / G. Volpe [et al.] // Physical Review Letters. — 2006. — jun. — Vol. 96, no. 23. — URL: https://doi.org/10.1103/physrevlett.96.238101.

17. Quidant R., Girard C. Surface-plasmon-based optical manipulation // Laser & Photonics Review. — 2008. — apr. — Vol. 2, no. 1-2. — P. 47–57. — URL: https://doi.org/10.1002/lpor.200710038.

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

Авторский указатель

Александрова, Е. В., 30
Алтунин, К. К., 22, 30, 49
Волкова, Е. Е., 79
Галоватюк, Т. В., 1
Гришанина, Е. А., 63
Шлёнкина, Е. А., 49