

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Разработка дистанционного курса по факультативному курсу “Нанотехнологии в современном мире”

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 11 июня 2021 года

После переработки 16 июля 2021 года

Опубликована 9 сентября 2021 года

Аннотация. Рассмотрен процесс создания материалов и элементов дистанционного курса по факультативному курсу “Нанотехнологии в современном мире”. Систематизация теории по физическим основам нанотехнологии позволила наполнить теоретическими материалами дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире». Разработаны элементы модулей дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» позволяющие контролировать усвоение знаний по физике от репродуктивного до творческого уровня. В составе дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» представлены элементы для проверки теоретических знаний по физическим основам нанотехнологии, позволяющая организовать автоматизированную проверку знаний по физическим основам курса. Разработаны элементы модулей дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире», позволяющие контролировать усвоение знаний по физике от репродуктивного до творческого уровня. Использование дистанционного курса в качестве факультативного курса “Нанотехнологии в современном мире” способствует повышению эффективности самостоятельной работы, обеспечению визуализации процесса обучения, повышению эффективности управления обучением с использованием возможностей системы MOODLE. Дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире» может быть использован при проведении факультативных курсов в области междисциплинарных исследований по физике и физическим основам нанотехнологии.

Ключевые слова: физика, нанотехнологии, дистанционный курс, элемент курса, факультативный курс, проверка знаний, усвоение знаний, система управления обучением

PACS: 01.40.-d

Введение

Данная работа посвящена исследованию процесса разработки дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» в системе управления обучением MOODLE.

Целью работы является теоретическое исследование различных оптических свойств наноструктурных материалов.

¹E-mail: kostya_altunin@mail.ru

Задачей исследования является разработка теоретических и контролирующих элементов дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» в системе управления обучения MOODLE, систематизация теоретических материалов по физическим основам нанотехнологии для использования в теоретической части разрабатываемого курса «Нанотехнологии в современном мире».

Объектом исследования является курс «Нанотехнологии в современном мире».

Предметом исследования является процесс разработки совокупности элементов дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» в системе управления обучения MOODLE.

Гипотеза исследования состоит в том, что если создать и использовать дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире», основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения нанотехнологий, то можно повысить познавательный интерес к курсу по нанотехнологиям и реализовать систему смешанного обучения нанотехнологиям.

Научная новизна работы заключается в использовании дистанционных образовательных технологий в процессе изучения фундаментальных понятий, законов и процессов нанотехнологий.

В качестве методов исследования используется анализ теоретических материалов по нанотехнологиям и наноэлектронике, синтез различных концепций описания физических процессов нанотехнологий и наноэлектроники, проектирование дистанционного курса по нанотехнологиям. В качестве материалов исследования используются теоретические материалы по нанотехнологиям и наноэлектронике.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что созданный дистанционный курс по нанотехнологиям может быть использован в создании новой методологии обучения нанотехнологиям в бакалавриате и магистратуре по педагогическому направлению подготовки физико-математического профиля в педагогическом университете, пополнении научной базы актуальными теоретическими материалами и задачами по нанотехнологиям.

Практическая значимость исследования заключается в выявлении характерных особенностей процесса разработки дистанционного курса по нанотехнологиям.

Обзор работ по нанотехнологиям

Нанотехнология включает в себя понимание фундаментальной физики, химии, биологии и технологии объектов нанометрового масштаба. Нанотехнология заключается в использовании вещества в атомном, молекулярном и надмолекулярном масштабе для промышленных целей.

Наноэлектроника — это термин, используемый в области нанотехнологий для электронных компонентов и исследований по усовершенствованию электроники, такой как дисплей, размер и потребляемая мощность устройства для практического использования. Сюда входят исследования микросхем памяти и физических модификаций электронных устройств. Наноэлектроника охватывает квантовомеханические свойства гибридных материалов, полупроводников, одномерных нанотрубок, нанопроволок. Развитая наноэлектроника может применяться в различных областях и особенно полезна для обнаружения болезнетворных агентов и биомаркеров болезней.

Первым обсуждением молекулярной наноэлектроники было предложение Авирама и Ратнера в 1974 году создать выпрямитель из органических молекул. Первый пример одиночного молекулярного электронного устройства не появлялся до 1990 года, основная проблема заключалась в сложности создания отдельных электрических контактов с молекулами, размер которых может составлять всего несколько нанометров. Развитие сканирующего туннельного микроскопа в основном позволило начать первые

измерения в этой области и остается одним из основных инструментов для определения электрических характеристик отдельных молекул.

Нанoeлектроника стала реальностью, поскольку критические размеры полупроводниковых компонентов, как логических транзисторов, так и памяти, составляют менее 22 нм. Этот переход к режиму далеко-субнанометрового диапазона позволил получить множество новых приложений для информационных и коммуникационных технологий. Однако общие размеры практических систем электронных информационных и коммуникационных технологий, в которых используются эти наноразмерные компоненты, остаются относительно большими, обычно порядка сантиметров или больше. Ещё в 1959 году Ричард Фейнман сделал дальновидную презентацию, в которой он предположил возможность создания компьютеров с «субмикроскопическими» размерами. Хотя прогресс полупроводниковой технологии был выдающимся, субмикроскопические и даже микроскопические компьютеры остаются вне нашего понимания. Более того, неизвестно, какой минимальный размер системы может быть достигнут с помощью существующих или проектируемых полупроводниковых технологий.

Компоненты нанoeлектроники часто имеют размер всего несколько нанометров. Однако чем меньше становятся электронные компоненты нанoeлектронных приборов и устройств, тем сложнее их производить. Нанoeлектроника охватывает разнообразный набор устройств и материалов, с общей характеристикой, заключающейся в том, что они настолько малы, что физические эффекты изменяют свойства материалов в наномасштабе — межатомные взаимодействия и квантовомеханические свойства играют значительную роль в работе этих устройств. На наномасштабе новые явления имеют приоритет над теми, что господствуют в макромире. Квантовые эффекты, такие как туннелирование и атомистический беспорядок, доминируют в характеристиках этих наноразмерных устройств.

Отрасль нанoeлектроники повлияет на современное общество в широком спектре приложений: вычисления, связь, здравоохранение, безопасность и оборона, а также мониторинг окружающей среды. Согласно прогнозам, в 2024 году технологический узел для металлооксидных полупроводниковых полевых транзисторов будет составлять 8 нм (в настоящее время 28 нм), а частота отсечки будет порядка 1 ТГц (в настоящее время 0.35 ТГц).

Дифракция — это фундаментальное физическое явление, возникающее при периодическом размещении источников рассеивающих волн. Например, когда рентгеновские лучи падают на кристаллы поваренной соли, дифракция возникает из-за периодической структуры атомов хлора и натрия. Последние достижения в области нанотехнологий позволили искусственно контролировать точки рассеяния даже в видимых длинах волн. Эти искусственные структуры называются фотонными кристаллами и связаны со многими интересными явлениями. Дисперсионные соотношения между волновым вектором и частотой называются полосными структурами. Подобно зонным структурам электронов и дырок в кристаллах, фотонные зоны для дисперсии определяют направление распространения световых волн за счёт дифракции периодических структур. В статье [1] представлена технология полос, которая позволяет многократно повторять полосы в произвольных волновых векторах с помощью голографической модуляции. Уже реализован узорчатый источник света под названием «iPMSEL» как типичное применение голографической фотонной полосы. IPMSEL был реализован путем объединения фотонно-кристаллических лазеров с поверхностным излучением и голографической техники. Он может излучать произвольные множественные диаграммы направленности и даже фотографические изображения из крошечного полупроводникового чипа без каких-либо оптических компонентов. В статье [1] изучается iPMSEL с точки зрения механизма репликации и работы фотонной полосы. Хотя эта работа основана на

фотонике, полученные результаты также могут быть применены к другим областям физики, связанным с дифракцией. Полагаем, что работа предоставляет полезные методы в отношении периодических структур во всех диапазонах масштабов.

В статье [2] теоретически поясняется, что топологические моды кольцевого резонатора, распространяющиеся вдоль границы раздела между двумя различными по топологии фотонными кристаллами сотового типа, могут быть использованы для достижения стабильной одномодовой генерации с максимальной интенсивностью, на порядок величины большей, чем у аналога в моде шепчущей галереи. В частности, показано, что топологические моды кольцевого резонатора, расположенные в центре объемной запрещенной зоны, максимально выигрывают от профиля усиления, поскольку они наиболее концентрированы и однородны вдоль границы раздела, и что, унаследовав от дираковской дисперсии состояний топологической границы раздела, они разделены по частоте друг от друга и от других фотонных мод, что способствует собственно одномодовой генерации. Топологическая мода кольцевого резонатора, движущаяся в определенном направлении с желаемым орбитальным угловым моментом, может быть стимулирована выборочно путём инъекции пучка с круговой поляризацией. По этой схеме можно создать топологический лазер с линейными размерами в десятки микрометров с помощью передовых полупроводниковых нанотехнологий, который генерирует киральные лазерные лучи, идеально подходящие для новых фотонных функций.

Квантовому поведению поверхностных плазмонов уделялось большое внимание благодаря развитию изысканных нанотехнологий и разнообразных приложений. Сообщалось о синем смещении, красном смещении и несмещении локализованных поверхностных плазмонных резонансов, когда размер частицы уменьшается и входит в режим квантового размера, но лежащий в основе физический механизм, вызывающий эти противоречивые зависимости от размера, не ясен. В статье [3] предложена улучшенная полуклассическая модель для модификации диэлектрической функции металлических наносфер путём комбинирования собственных квантованных электронных переходов и инъекции или экстракции поверхностных электронов для исследования плазмонного сдвига и зависимости размера локализованного поверхностного плазмонного резонанса заряженных наночастиц золота. Экспериментально наблюдается, что немонотонный синий сдвиг локализованных поверхностных плазмонных резонансов с размером для наночастиц золота превращается в приблизительно монотонный голубой сдвиг за счёт увеличения концентрации доноров электронов в восстанавливающем растворе, а также он может быть преобразован в приблизительно монотонное красное смещение после пассивации поверхности с помощью молекулы лиганда. Кроме того, продемонстрировано, что контролируемое синее смещение и красное смещение для электронного и дырочного плазмонов в наночастицах ядро-оболочка путём инъекции электронов. Экспериментальные наблюдения и теоретические расчёты проясняют противоречивые зависимости локализованного поверхностного плазмонного резонанса от размера, о которых сообщается в литературе, раскрывают критическую роль инъекции или экстракции поверхностных электронов в преобразовании между различными размерными зависимостями локализованных поверхностных плазмонных резонансов и полезны для понимания природы поверхностных плазмонов в квантово-размерном режиме.

Одна из фундаментальных целей нанотехнологии — использовать селективные и направленные взаимодействия между молекулами для создания частиц, которые самоорганизуются в желаемые структуры, от капсидов до нанокластеров и до полностью сформированных кристаллов с целевыми свойствами (например, оптическими, механическими). В статье [4] предлагается общая схема, которая преобразует обратную задачу самосборки коллоидных кристаллов в задачу булевой выполнимости, решения которой могут быть найдены численно. Учитывая эталонную структуру и желаемое количество

компонентов, подход создаёт конструкции, для которых целевая структура является минимумом энергии, а также позволяет нам исключить решения, соответствующие конкурирующим структурам. Продемонстрирована эффективность подхода, создавая модельные частицы, которые спонтанно зарождаются в ключевых структурах, таких как кубический алмаз, пирохлор и клатратные решетки.

Нанотехнологии не только предоставили нам возможность разработки квантовых машин, но и неканонические источники энергии, способные ими управлять. В статье [5] сосредотачиваются на изучении производительности квантовых машин, управляемых произвольными комбинациями равновесных резервуаров и формой спроектированных резервуаров, состоящих из невзаимодействующих частиц, но функции распределения которых нетепловые. Предоставлены выражения для расчёта максимальной эффективности этих машин, не зная, как на самом деле были созданы неравновесные резервуары. Формулы требуют вычисления величины, которую называем энтропийным током. Проиллюстрирована методология с помощью решаемой игрушечной модели, в которой тепло «спонтанно» течёт против температурного градиента.

Полностью диэлектрическая резонансная нанофотоника лежит в основе современной оптики и нанотехнологий благодаря уникальным возможностям управления рассеянием света от диэлектрических наночастиц и метаповерхностей с высоким показателем преломления. Одна из важных концепций диэлектрической резонансной нанофотоники Ми связана с эффектом Керкера, который вызывает однонаправленное рассеяние света от наноантенн и метаповерхностей Гюйгенса. В статье [6] предлагается и экспериментально демонстрируется новый эффект, проявляющийся в почти полном одновременном подавлении как прямого, так и обратного рассеянных полей. Этот эффект определяется резонансом Фано электрического диполя и нерезонансных квадрупольных мод, обеспечивая необходимые фазы и амплитуды рассеянных полей для достижения поперечного рассеяния. Распространяется эта концепция на диэлектрические метаповерхности, которые демонстрируют нулевое отражение с поперечным рассеянием и усилением сильного поля для резонансной фильтрации света, нелинейных эффектов и зондирования.

Рассеяние света субволновыми частицами тесно связано с резонансами Ми и оптически индуцированным мультиполярным откликом [7, 8]. Сосуществование и взаимодействие электрических и магнитных дипольных мод позволяет достичь либо конструктивной, либо деструктивной интерференции, приводящей к замечательному разнообразию диаграмм рассеяния субволновых диэлектрических частиц [9, 10]. В частности, сильное асимметричное рассеяние вперёд-назад (часто называемое эффектом Керкера) достигается в результате интерференции электрических и магнитных дипольных мод [11–15] или квадрупольные моды с соответствующими фазовыми соотношениями [10, 16, 17]. Эффект Керкера также представляет большой интерес для направленности ближнего поля диполей Гюйгенса [18], и он стимулирует физику высокоэффективных пассивных и активных диэлектрических метаповерхностей и метаустройств, резонансных Ми [19–23].

Металлическая наночастица, связанная с квантовым излучателем, представляет собой универсальную композитную наноструктуру с уникальными химическими и физическими свойствами, которая интенсивно изучается благодаря широкому спектру многообещающих применений в нанонауке и нанотехнологиях. При накачке до более высокого уровня усиления металлическая наночастица, связанная с композитной наноструктурой с квантовым излучателем, действует как наноплазмонный аналог обычного лазера, который способен работать на субволновых длинах волн. Теория плазмонных лазеров до сих пор разрабатывалась на основе локального оптического отклика металлической наночастицы без учёта наноразмерных эффектов ее свободных электронов. В статье [24] проведён всесторонний квантовомеханический анализ сложной металличе-

ской наночастицы, связанной с композитной наноструктурой с квантовым излучателем, улавливая неклассические эффекты, зависящие от размера, через нелокальный оптический отклик металлической наночастицы. Исследование показывает, что нелокальная поправка вносит значительные отклонения в плазмонную статистику гибридной частицы, предполагаемую локальными расчетами, которые становятся более заметными при увеличении количества квантовых излучателей, связанных с металлической наночастицей. Кроме того, для типичных значений параметров материала, используемых в литературе, наблюдали возникновение эффектов гашения при более низких скоростях накачки, чем предполагалось в формализме местного отклика. По сути, нелокально оцениваемая плазмонная статистика металлических наночастиц, связанных с композитными наноструктурами с квантовым излучателем, требует согласованного взаимодействия ещё большего числа квантовых излучателей, чтобы компенсировать ухудшение когерентности и поддерживать генерацию.

Способность гетероструктур из графена и полимера поглощать электромагнитное излучение ГГц недавно была подтверждена как теоретически, так и экспериментально [25, 26]. Было показано, что максимальное поглощение зависит исключительно от показателей преломления падающей и выходящей среды, если выполняются условия согласования импеданса. В статье [27] аналитические модели и численное моделирование выполняются как для полубесконечной, так и для конечной плиты-основы. Продемонстрировано, что только три слоя графена, разделенные диэлектрической прокладкой и эpsilon квазиулевым метаматериалом в качестве выходной среды, обеспечивают идеальное поглощение при нормальном падении. Использование эpsilon-метаматериала, близкого к нулю, без потерь предотвращает прохождение излучений через устройство из-за бесконечного импеданса и заставляет их полностью поглощаться диссипативной средой (графеном). Доказано, что устройство устойчиво к угловому падению до 45 градусов для полубесконечного эpsilon-метаматериала, близкого к нулю. Предлагаемая стратегия универсальна и может применяться к любым двумерным диссипативным материалам, лежащим на эpsilon квазиулевым метаматериале. Предлагаемый поглотитель не зависит от поверхностного рисунка или текстурирования и, следовательно, более привлекателен для применения в устройствах.

В статье [28] описаны условия квазиулевой диэлектрической прогнциаемости, которые улучшают сверхпроводящие свойства композитного метаматериала на основе случайного смешивания сверхпроводниковых и сегнетоэлектрических наночастиц. В статье [28] анализируются несколько других многообещающих экспериментальных геометрий, которые могут значительно усилить спаривание электронов в сверхпроводнике из метаматериалов. Предлагаемые геометрические формы могут быть изготовлены на современном уровне развития нанотехнологий. Они позволяют настраивать как частотную, так и пространственную дисперсию эффективной функции диэлектрического отклика метаматериала, что позволяет оптимизировать свойства сверхпроводника метаматериала.

В статье [29] показано, как вызвать направленное движение наноразмеров с помощью некоторых внутренних механизмов, относящихся к наносистеме, остаётся проблемой в нанотехнологиях. В статье [29] показано с помощью моделирования молекулярной динамики, что существует фундаментальная движущая сила для того, чтобы наноразмерный объект перемещался из области более низкой жёсткости в область более высокой жёсткости на подложке. Такое направленное движение в наномасштабе вызвано разницей в эффективной потенциальной энергии Ван-дер-Ваальса из-за изменения жесткости подложки; то есть при прочих равных условиях наноразмерный объект на более жёсткой подложке имеет более низкую потенциальную энергию Ван-дер-Ваальса. Этот фундаментальный закон направленного движения в наномасштабе может приве-

сти к появлению многообещающих путей для срабатывания и преобразования энергии в наномасштабе.

Исследование и манипулирование электронными состояниями в низкоразмерных системах имеют большое значение в фундаментальных и практических аспектах наноматериалов и нанотехнологий. В статье [30] продемонстрировано, что внедрение вакансионных дефектов в одноатомные индиевые проволоки на кремнии может стабилизировать электронно-фазово-разделенные основные состояния, в которых изолирующие и металлические фазы сосуществуют. Кроме того, соотношение площадей двух фаз в фазово-разделенных состояниях можно обратимо настраивать с помощью электрического поля или легирования заряда, и такие настраиваемые параметры могут быть количественно зафиксированы с помощью моделирования и симуляций на основе первых принципов.

Атомистические расчёты сильной связи показывают, что двумерные топологические изоляторы могут быть получены с использованием нанотехнологий Ge или Ge/Si [31]. Сильное квантовое ограничение используется для открытия энергетических щелей в валентной зоне искусственного графена из Ge. Эти зазоры топологически нетривиальны из-за комбинации сотовой наногометрии и спин-орбитальной связи. Ширина зазора выше 10 мэВ может быть получена с использованием реалистичных структур. Обладая небольшими эффективными массами, сильной спин-орбитальной связью и высокой совместимостью с процессами микроэлектроники, Ge является отличной подложкой для изготовления устройств спинтроники на основе состояний топологического изолятора.

Квантовый излучатель, связанный с наномеханическим осциллятором, представляет собой гибридную систему, в которой макроскопическая степень свободы связана с чисто квантовой системой. Недавний прогресс в области нанотехнологий привел к реализации таких устройств путём встраивания отдельных искусственных атомов, таких как квантовые точки или сверхпроводящие кубиты, в вибрирующие провода или мембраны, что открыло новые перспективы для квантовых информационных технологий и для исследования границы между квантами и классикой. В статье [32] показано, что квантовый излучатель можно превратить в поразительно эффективный управляемый светом источник механической энергии, используя конструктивную интерференцию классических фононных полей в механическом осцилляторе. Показано, что этот механизм может быть использован для проведения неразрушающего однократного измерения оптически активного квантового бита с низким уровнем фона.

В статье [33] численно изучаются рассеяние и поглощение света в самоподобных агрегатах диэлектрических наночастиц, возникающих в результате моделирования баллистического осаждения на поверхность, начиная с одной затравочной частицы. Полученная структура имеет сложную древовидную форму, предназначенную для имитации морфологических свойств строительных блоков настоящих наноструктурированных тонких плёнок, полученных с помощью процессов тонко контролируемого физического осаждения, используемых в нанотехнологиях. Связь сечений рассеяния и поглощения с морфологией исследуется в рамках вычислительной схемы, которая тщательно учитывает как многократное рассеяние, так и эффекты ближнего поля. Численные результаты сравниваются с ранее существовавшей аналитической обработкой ограниченного однократного рассеяния света во фрактальных агрегатах малых диэлектрических частиц.

Создание квантового транзистора, состоящего из молекул или квантовых точек, было одной из самых амбициозных задач в области нанотехнологий. Несмотря на то, что был достигнут значительный прогресс, возможность управлять объектами нанометрового масштаба и управлять ими, а также связывать их для достижения масштабируемости остается чрезвычайно сложной задачей. Большинство экспериментов касается

отдельной квантовой точки или молекулы, и они проводятся при сверхнизкой температуре, чтобы избежать декогеренции и туннелирования. В статье [34] предлагается использовать канонические преобразования для разработки квантовых устройств, которые защищены симметрией и, следовательно, могут работать при высоких температурах. Проиллюстрируем идею примерами архитектур на квантовых транзисторах, которые можно подключать как последовательно, так и параллельно.

Фундаментальное понимание взаимодействия клетки и наноматериала имеет важное значение для наномедицины и безопасного применения нанотехнологий. В статье [35] исследуется адгезивное обертывание мягких эластичных пузырьков липидной мембраной. В статье [35] показано, что существует максимум пять различных фаз упаковки, основанных на стабильности состояния полной упаковки, частичной упаковки и отсутствия состояний упаковки. Фазы обертывания зависят от размера везикул, энергии адгезии, поверхностного натяжения мембраны и соотношения жесткости при изгибе между везикулами и мембраной. Эти результаты представляют непосредственный интерес для изучения везикулярного транспорта и эндоцитоза или фагоцитоза эластичных частиц в клетки.

Подход с подавлением рассеяния недавно был предложен в качестве многообещающего способа создания плащ-невидимок. Однако снижение наблюдаемости объекта — лишь одно из возможных применений этой техники. В статье [36] исследуется возможность уменьшить оптические силы, действующие на данную наночастицу, путём покрытия её правильно разработанной плазмонной маскировкой. Фактически, показано, что условия, аналогичные тем, которые используются для того, чтобы сделать сферические и цилиндрические наночастицы невидимыми для электромагнитного поля с помощью метода компенсации рассеяния, могут быть непосредственно применены также для минимизации как градиентных, так и рассеивающих оптических сил, оказываемых освещающим излучением на поверхность. Такие же покрытые наночастицы. Эти результаты затем подтверждаются с помощью полноволнового моделирования, должным образом учитывающего как дисперсию, так и потери плазмонных материалов, используемых для создания маскировочных покрытий. Расширяем также рассуждения на случай оптических моментов, действующих на сфероидальные и цилиндрические рэлеевские частицы, определяя условия для получения стабильных положений равновесия. Это исследование приводит к аномальному результату, заключающемуся в том, что обычные нестабильные положения равновесия непокрытых частиц могут привести к стабильным положениям при правильном проектировании покрытия для частиц. Наконец, чтобы применить предложенные теоретические рассуждения к более сложным случаям, выводим условия минимизации оптических сил, действующих на маскированную частицу Рэлея, помещенную над диэлектрическим полупространством. Эти результаты могут найти интересные приложения в различных областях нанотехнологии.

Оптические наноцепи могут проложить путь к революционным достижениям в наноразмерных коммуникациях. В статье [37] представлена концепция оптической наносхемы, состоящей из слоистой структуры из метаматериала с низкой эффективной диэлектрической проницаемостью, по которой могут быть вырезаны определенные трассы, которые направляют ток оптического смещения, позволяя оптическую «локальную связь» между «нелокальной» удалённой наносистемой. элементы. Это может обеспечить «печатные» наноцепи, реализуя полностью оптическую нанопечатную плату, на которой могут быть нанесены наноиmprинты определенные канавки в рамках современной нанотехнологии.

Описание результатов разработки элементов дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире» в системе управления обучением MOODLE

В настоящее время интенсивно различны системы дистанционного обучения и дистанционной поддержки обучения. В связи с этим становится актуальной задача разработки информационного обеспечения и сопровождения изучения электронного курса, созданного в системе дистанционного обучения.

Объектом исследования в части разработки электронного образовательного ресурса является дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире». Предметом исследования в части разработки электронного образовательного ресурса является процесс создания дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире». Дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире» в системе управления обучением MOODLE позволяет организованно хранить теоретические материалы, практические задания, задачи и вопросы в области междисциплинарных исследований по физике и нанотехнологии, организовать систематическое изучение теоретических материалов и практических заданий дистанционного курса. При создании дистанционного курса были использованы теоретические материалы междисциплинарной области исследований на стыке физики и нанотехнологии.

Опишем результаты разработки дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире». На первом этапе разработки дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире» выполнен анализ программ изучения дисциплин по физическим основам нанотехнологии. Выполнен анализ программ по физическим основам нанотехнологии, что позволило выделить максимальный объём материала, необходимого для создания и наполнения дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире». Первоначально выбор для создания дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире» был сделан в пользу инструментальных возможностей бесплатной платформы MOODLE по причине изначальной ориентации этого инструмента на общение в процессе обучения физическим основам нанотехнологии.

На втором этапе разработки дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире» выполнен подбор и анализ теоретического материала в рамках выбранного раздела и тем. Проведено всестороннее сравнение различных подходов к изложению теоретического материала по физическим основам нанотехнологии.

На третьем этапе разработки дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире» выполнено создание структуры дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире». Изначально был выбран модульный принцип построения электронного курса в системе управления обучением MOODLE. Использование этого принципа позволяет открывать и закрывать модули от чтения или редактирования по мере необходимости изучения темы. Этот механизм, связанный с возможностью открывания и закрывания модулей, обеспечит ритмичное продвижение по курсу в процессе изучения факультативного курса «Нанотехнологии в современном мире».

На четвёртом этапе разработки дистанционного курса по факультативному курсу «Нанотехнологии в современном мире» выполнено наполнение модулей теоретическим содержанием по оптике, различными заданиями и задачами по физическим основам нанотехнологии. Систематизация теории по физическим основам нанотехнологии позволила наполнить теоретическими материалами дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире».

На пятом этапе разработки дистанционного курса по факультативному курсу “Нанотехнологии в современном мире” будет необходимо записать пользователей на курс и организовать работу с журналом в системе MOODLE.

Технология создания дистанционного курса по факультативному курсу “Нанотехнологии в современном мире” является достаточно трудоёмкой и включает такие этапы разработки, как определение целей и задач разработки, разработка структуры дистанционного курса по физическим основам нанотехнологии, разработка содержания по модулям и темам электронного ресурса, подготовка сценариев работы с отдельными элементами дистанционного курса, программирование, апробация, корректировка содержания электронного курса по результатам апробации, подготовка методического пособия пользователя.

Выполним описание процесса разработки элементов разработанного дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE. Для внедрения современных представлений о физических свойствах и технологии получения наноструктур предполагается разработать курс “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE. Кроме того, рассмотрим особенности создания основных элементов дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE с системой задач и заданий в тестовой форме. Процесс проектирования модульной структуры курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE, размещённой на сайте ФГБОУ ВО “УлГПУ им. И. Н. Ульянова имеет целый ряд преимуществ таких, как возможность выбора темпа и индивидуальной траектории изучения учебной дисциплины.

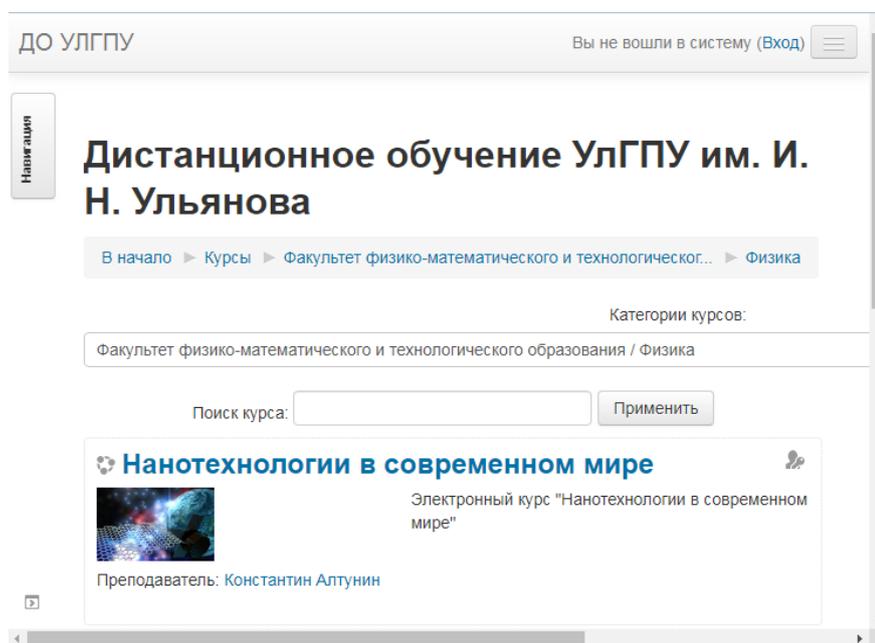


Рис. 1. Изображение входной страницы дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 представлено изображение входной страницы дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”, созданного в системе управления обучением MOODLE.

В работе для демонстрации возможностей системы MOODLE был создан дистанционный курс по нанотехнологиям в системе дистанционного обучения Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова. Вид структуры модулей дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” показан на рис.

Личный кабинет ► Мои курсы ► Нанотехнологии в современном мире

Режим редактирования

Навигация

Настройки

Объявления

Введение в нанотехнологии

Страница: 1 Лекция: 1 Гиперссылки: 2 Тест: 1

Нанотехнологии

Применение нанотехнологий

Опасности, связанные с нанотехнологиями

Основные методы нанолитографии, перспективы применения зондовых нанотехнологий при формировании структур элементов наноэлектроники и наносистемной техники

Процессы в зазоре сканирующего зондового микроскопа при проведении локального анодного окисления

Файл: 1

Рис. 2. Изображение структуры модулей факультативного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

2-5. На рис. 2 представлено изображение структуры модулей факультативного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 представлено изображение элементов первой темы курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

Структура курса “Нанотехнологии в современном мире” состоит из 6 модулей. Каждый из модулей является логическим продолжением предыдущего модуля по тематике. Каждый модуль содержит элементы для контроля знаний по учебной дисциплине “Нанотехнологии в современном мире”.

Приведём описание разработки банка вопросов и заданий курса “Нанотехнологии в современном мире”. Любой учебный курс, даже полностью дистанционный курс, не

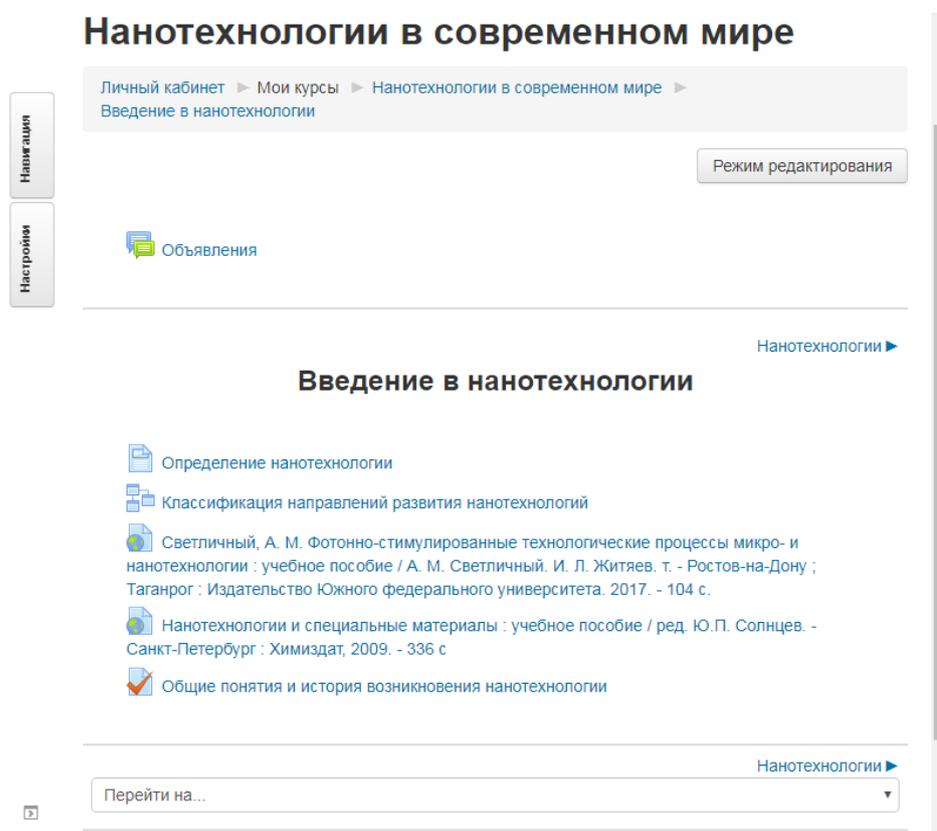


Рис. 3. Изображение элементов первой темы дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

мыслим без планомерного и систематического контроля теоретических знаний. В составе электронного курса “Нанотехнологии в современном мире”, разработанного на платформе MOODLE, создан банк вопросов для контроля репродуктивного уровня усвоения теоретических знаний по физическим основам нанотехнологий. Каждый вопрос по физическим основам нанотехнологии имеет номер и название. Этот принцип нумерации вопросов облегчает добавлению вопросов по физическим основам нанотехнологии из банка вопросов в тематический тест в составе конкретной темы дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”.

Наглядность в электронном образовательном ресурсе “Нанотехнологии в современном мире” значительно выше, чем в печатном учебнике. Причём достигается высокая наглядность и оперативность в выставлении и получении оценок за выполненные задания и проделанные работы в электронном курсе “Нанотехнологии в современном мире”. Наглядность обеспечивается использованием при создании электронных образовательных ресурсов различных современных мультимедийных технологий таких, как гиперссылки, видеосюжетов, анимации, звукового сопровождения и т.п.

Рассмотрим описание разработки банка вопросов в составе дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”, созданного в системе управления обучением MOODLE. Банк вопросов дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” 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. В составе дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE создан банк вопросов для текущего контроля знаний. На рис. 4 представлен первый вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”, который является вопро-

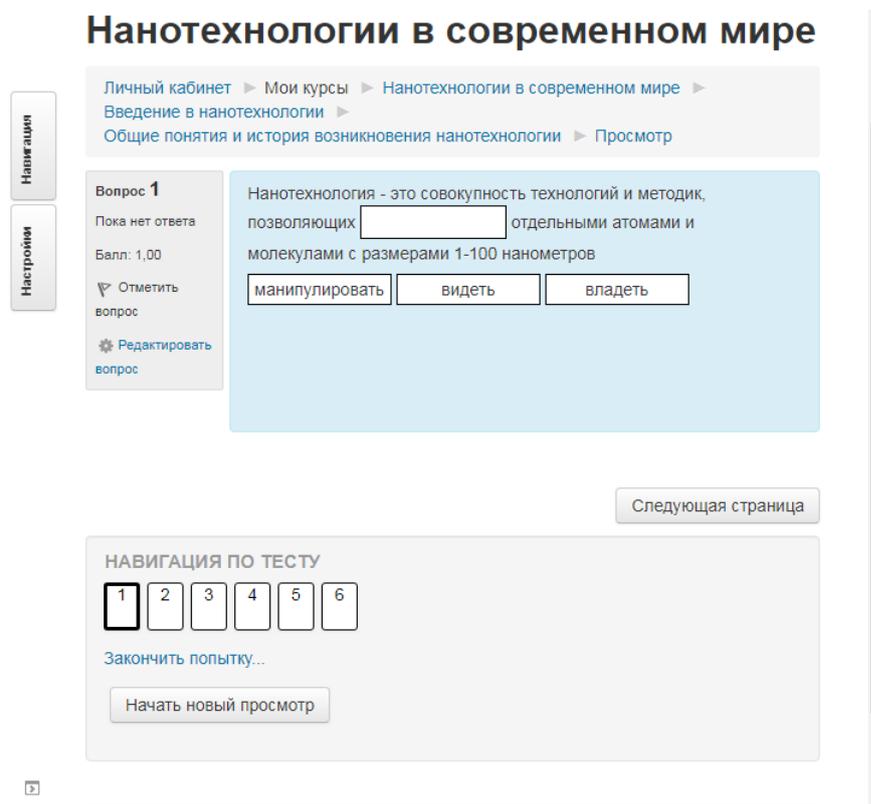


Рис. 4. Первый вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

сом с выбором одного правильно ответа, используемая для осуществления контроля за степенью теоретических знаний на репродуктивном уровне.

На рис. 5 представлен второй вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 представлен третий вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”.

На рис. 7 представлен четвертый вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”.

На рис. 8 представлен пятый вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”.

На рис. 9 представлен шестой вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире”.

Использование дистанционного курса по факультативному курсу “Нанотехнологии в современном мире” способствует интенсификации учебно-воспитательного процесса, более осмысленному изучению материала, приобретению навыков самоорганизации, превращению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучающихся и интереса к физическим основам нанотехнологии. У обучающихся, прошедших обучение с использованием обучающей программы происходит не только существенное развитие логического мышления, но и значительно повышается уровень рефлексивных действий с материалом, изучаемым на занятиях.

В данной части работы рассмотрено научно-методическое сопровождение процесса разработки факультативного курса в виде дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире». Дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире» разработан в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Рис. 5. Второй вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» в системе управления обучением MOODLE.

В составе дистанционного курса в качестве факультативного курса «Нанотехнологии в современном мире» представлены элементы для проверки теоретических знаний по физическим основам нанотехнологии, позволяющая организовать автоматизированную проверку знаний по физическим основам курса. Разработаны элементы модулей дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» позволяющие контролировать усвоение знаний по физике от репродуктивного до творческого уровня.

Заключение

Рассмотрено применение теоретических материалов по описанию оптических свойств наноструктурных материалов в дистанционном курсе по нанотехнологиям в современном мире. В связи с возрастающей информатизацией образования идёт внедрение электронных курсов, онлайн-курсов, дистанционных курсов во всех предметных областях, включая междисциплинарную область исследований на стыке физики и нанотехнологии. Поэтому разработка дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» представляет практическую значимость для образовательного процесса по физике с элементами нанотехнологии.

Дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире» может быть использован при проведении факультативных курсов в области междисциплинарных исследований по физике и физическим основам нанотехнологии. Систематизация теории по физическим основам нанотехнологии позволила наполнить теоретическими материалами дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире». Разработаны элементы модулей дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире», позволяющие контролировать усвоение знаний по физике от репродуктивного до творческого уровня.

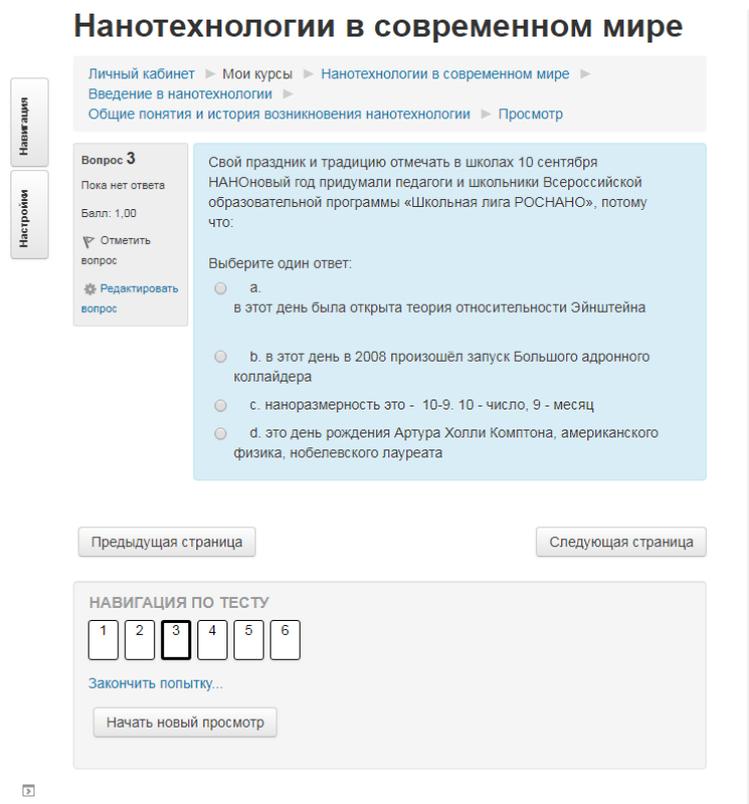


Рис. 6. Третий вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

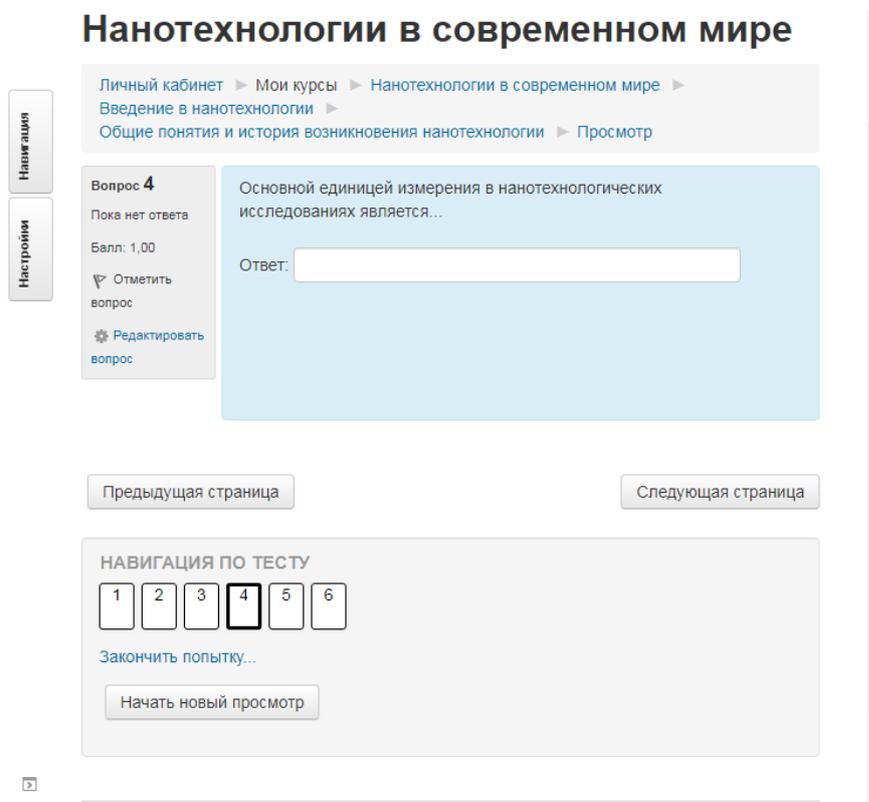


Рис. 7. Четвёртый вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

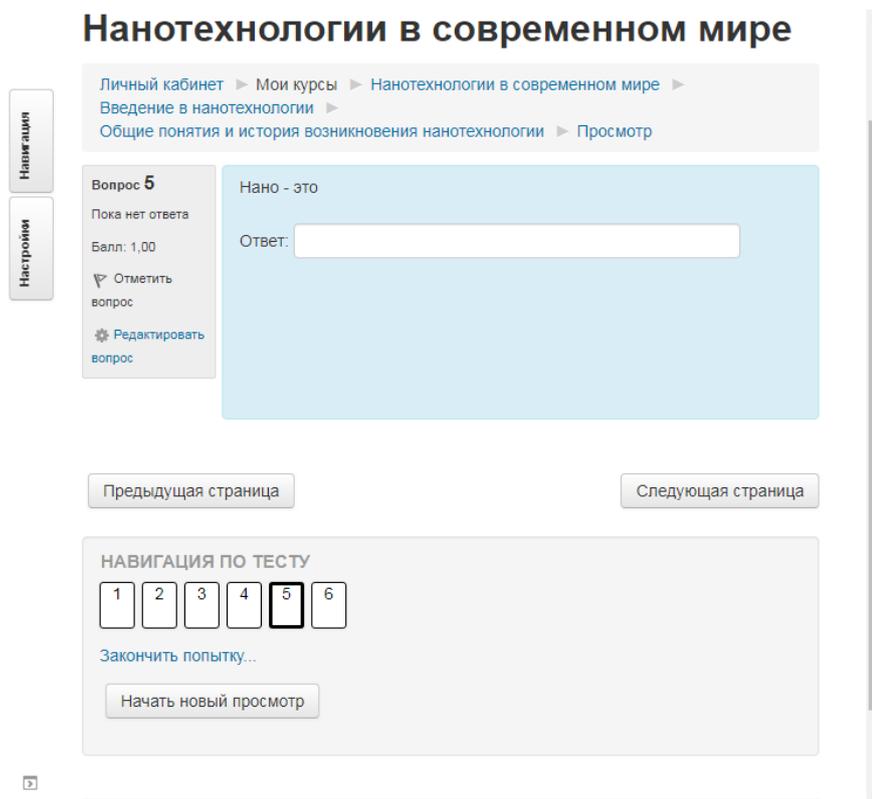


Рис. 8. Пятый вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

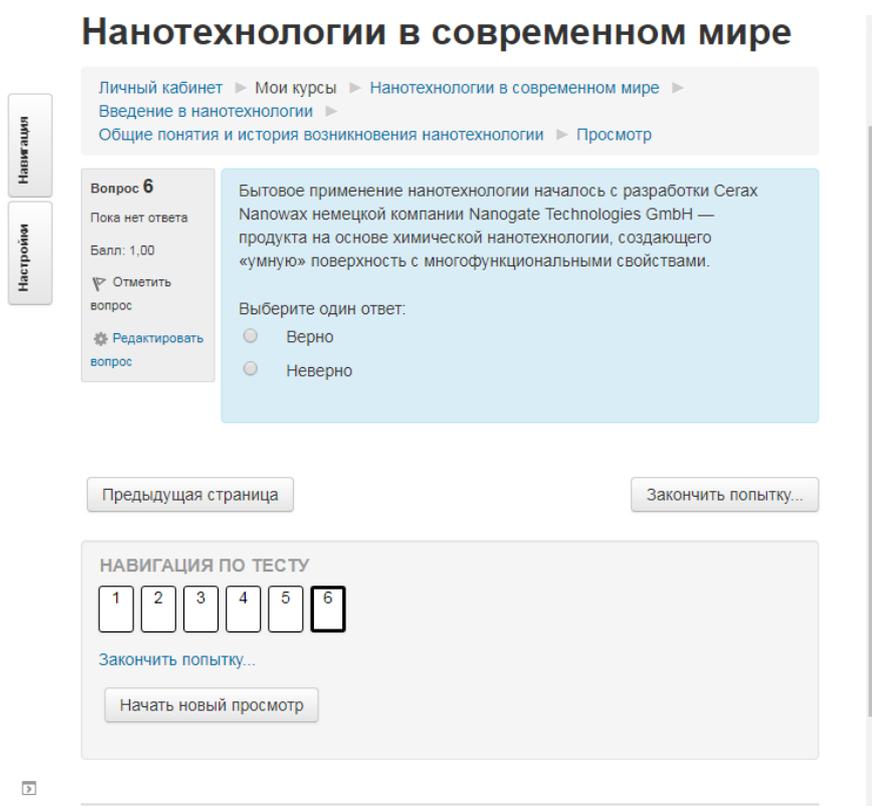


Рис. 9. Шестой вопрос из теста 1 по первой теме дистанционного курса “Нанотехнологии в современном мире” в системе управления обучением MOODLE.

В составе дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» представлены элементы для проверки теоретических знаний по физическим основам нанотехнологии, позволяющая организовать автоматизированную проверку знаний по физическим основам курса. Разработаны элементы модулей дистанционного курса «Нанотехнологии в современном мире» позволяющие контролировать усвоение знаний по физике от репродуктивного до творческого уровня.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если создать и использовать дистанционный курс «Нанотехнологии в современном мире», основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения нанотехнологий, то можно повысить познавательный интерес к курсу по нанотехнологиям и реализовать систему смешанного обучения нанотехнологиям, подтверждена полностью.

Использование дистанционного курса в качестве факультативного курса «Нанотехнологии в современном мире» способствует повышению эффективности самостоятельной работы, обеспечению визуализации процесса обучения, повышению эффективности управления обучением с использованием возможностей системы MOODLE.

Список использованных источников

1. Replication of band structure in an arbitrary wave vector by holographic modulation / Yoshitaka Kurosaka [et al.] // *Physical Review B*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.245310>.
2. Sun Xiao-Chen, Hu Xiao. Topological ring-cavity laser formed by honeycomb photonic crystals // *Physical Review B*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.245305>.
3. Tunable Size Dependence of Quantum Plasmon of Charged Gold Nanoparticles / Song Ma [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2021. — apr. — Vol. 126, no. 17. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.126.173902>.
4. Designing Patchy Interactions to Self-Assemble Arbitrary Structures / Flavio Romano [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2020. — sep. — Vol. 125, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.118003>.
5. Deghi Sebastian E., Bustos-Marín Raúl A. Entropy current and efficiency of quantum machines driven by nonequilibrium incoherent reservoirs // *Physical Review B*. — 2020. — jul. — Vol. 102, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.102.045415>.
6. Transverse Scattering and Generalized Kerker Effects in All-Dielectric Mie-Resonant Metaoptics / Hadi K. Shamkhi [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2019. — may. — Vol. 122, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.122.193905>.
7. Kruk Sergey, Kivshar Yuri. Functional Meta-Optics and Nanophotonics Governed by Mie Resonances // *ACS Photonics*. — 2017. — nov. — Vol. 4, no. 11. — P. 2638–2649. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.7b01038>.
8. Kivshar Yuri. All-dielectric meta-optics and non-linear nanophotonics // *National Science Review*. — 2018. — jan. — Vol. 5, no. 2. — P. 144–158. — URL: <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy017>.
9. Multipolar response of nonspherical silicon nanoparticles in the visible and near-infrared spectral ranges / Pavel D. Terekhov [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.035443>.

10. Liu Wei, Kivshar Yuri S. Generalized Kerker effects in nanophotonics and meta-optics [Invited] // *Optics Express*. — 2018. — may. — Vol. 26, no. 10. — P. 13085. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.26.013085>.
11. 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>.
12. Nieto-Vesperinas M., Gomez-Medina R., Saenz J. J. Angle-suppressed scattering and optical forces on submicrometer dielectric particles // *Journal of the Optical Society of America A*. — 2010. — dec. — Vol. 28, no. 1. — P. 54. — URL: <https://doi.org/10.1364/josaa.28.000054>.
13. Huygens optical elements and Yagi—Uda nanoantennas based on dielectric nanoparticles / A. E. Krasnok [et al.] // *JETP Letters*. — 2011. — dec. — Vol. 94, no. 8. — P. 593–598. — URL: <https://doi.org/10.1134/s0021364011200070>.
14. Resonant forward scattering of light by high-refractive-index dielectric nanoparticles with toroidal dipole contribution / Pavel D. Terekhov [et al.] // *Optics Letters*. — 2017. — feb. — Vol. 42, no. 4. — P. 835. — URL: <https://doi.org/10.1364/ol.42.000835>.
15. Kerker Effect in Ultrahigh-Field Magnetic Resonance Imaging / Marc Dubois [et al.] // *Physical Review X*. — 2018. — sep. — Vol. 8, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevx.8.031083>.
16. Ultra-directional forward scattering by individual core-shell nanoparticles / Wei Liu [et al.] // *Optics Express*. — 2014. — jun. — Vol. 22, no. 13. — P. 16178. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.22.016178>.
17. Pors Anders, Andersen Sebastian K. H., Bozhevolnyi Sergey I. Unidirectional scattering by nanoparticles near substrates: generalized Kerker conditions // *Optics Express*. — 2015. — oct. — Vol. 23, no. 22. — P. 28808. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.23.028808>.
18. Picardi Michela F., Zayats Anatoly V., Rodríguez-Fortuño Francisco J. Janus and Huygens Dipoles: Near-Field Directionality Beyond Spin-Momentum Locking // *Physical Review Letters*. — 2018. — mar. — Vol. 120, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.120.117402>.
19. 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>.
20. Invited Article: Broadband highly efficient dielectric metadevices for polarization control / Sergey Kruk [et al.] // *APL Photonics*. — 2016. — jun. — Vol. 1, no. 3. — P. 030801. — URL: <https://doi.org/10.1063/1.4949007>.
21. Recent advances in planar optics: from plasmonic to dielectric metasurfaces / Patrice Genevet [et al.] // *Optica*. — 2017. — jan. — Vol. 4, no. 1. — P. 139. — URL: <https://doi.org/10.1364/optica.4.000139>.
22. Staude Isabelle, Pertsch Thomas, Kivshar Yuri S. All-Dielectric Resonant Meta-Optics Lightens up // *ACS Photonics*. — 2019. — mar. — Vol. 6, no. 4. — P. 802–814. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.8b01326>.

23. Multipole analysis of dielectric metasurfaces composed of nonspherical nanoparticles and lattice invisibility effect / Pavel D. Terekhov [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — jan. — Vol. 99, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.99.045424>.
24. Significance of the nonlocal optical response of metal nanoparticles in describing the operation of plasmonic lasers / Dasuni Lelwala Gamacharige [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — mar. — Vol. 99, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.99.115405>.
25. Flexible transparent graphene/polymer multilayers for efficient electromagnetic field absorption / K. Batrakov [et al.] // *Scientific Reports*. — 2014. — nov. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep07191>.
26. Robust electromagnetic absorption by graphene/polymer heterostructures / Michaël Lobet [et al.] // *Nanotechnology*. — 2015. — jun. — Vol. 26, no. 28. — P. 285702. — URL: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/26/28/285702>.
27. Perfect electromagnetic absorption using graphene and epsilon-near-zero metamaterials / Michael Lobet [et al.] // *Physical Review B*. — 2016. — jun. — Vol. 93, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.93.235424>.
28. Smolyaninov Igor I., Smolyaninova Vera N. Metamaterial superconductors // *Physical Review B*. — 2015. — mar. — Vol. 91, no. 9. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.91.094501>.
29. Nanoscale Directional Motion towards Regions of Stiffness / Tienchong Chang [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2015. — jan. — Vol. 114, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.114.015504>.
30. Stabilization and Manipulation of Electronically Phase-Separated Ground States in Defective Indium Atom Wires on Silicon / Hui Zhang [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2014. — nov. — Vol. 113, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.113.196802>.
31. Delerue Christophe. Prediction of robust two-dimensional topological insulators based on Ge/Si nanotechnology // *Physical Review B*. — 2014. — aug. — Vol. 90, no. 7. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.90.075424>.
32. Auffèves A., Richard M. Optical driving of macroscopic mechanical motion by a single two-level system // *Physical Review A*. — 2014. — aug. — Vol. 90, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.90.023818>.
33. Gerosa Matteo, Bottani Carlo Enrico. Multiple light scattering and near-field effects in a fractal treelike ensemble of dielectric nanoparticles // *Physical Review B*. — 2013. — may. — Vol. 87, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.87.195312>.
34. Büsser C. A., Feiguin A. E. Designing a symmetry-protected molecular device // *Physical Review B*. — 2012. — oct. — Vol. 86, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.86.165410>.
35. Yi Xin, Shi Xinghua, Gao Huajian. Cellular Uptake of Elastic Nanoparticles // *Physical Review Letters*. — 2011. — aug. — Vol. 107, no. 9. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.107.098101>.

36. Tricarico Simone, Bilotti Filiberto, Vegni Lucio. Reduction of optical forces exerted on nanoparticles covered by scattering cancellation based plasmonic cloaks // Physical Review B. — 2010. — jul. — Vol. 82, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.82.045109>.
37. Alù Andrea, Engheta Nader. All Optical Metamaterial Circuit Board at the Nanoscale // Physical Review Letters. — 2009. — sep. — Vol. 103, no. 14. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.103.143902>.

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»

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Development of a distance course for the optional course “Nanotechnologies in the modern world”

K. K. Altunin 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted June 11, 2021

Resubmitted July 16, 2021

Published September 9, 2021

Abstract. The process of creating materials and elements of a distance course for the optional course “Nanotechnologies in the modern world” is considered. The systematization of the theory on the physical foundations of nanotechnology made it possible to fill the distant course “Nanotechnologies in the modern world” with theoretical materials. Elements of distance course modules “Nanotechnologies in the modern world” have been developed to control the assimilation of knowledge in physics from the reproductive to the creative level. The distance course “Nanotechnologies in the modern world” contains elements for testing theoretical knowledge on the physical foundations of nanotechnology, which allows organizing an automated test of knowledge on the physical foundations of the course. Elements of distance course modules “Nanotechnologies in the modern world” have been developed to control the assimilation of knowledge in physics from the reproductive to the creative level. Using the distance course as an optional course “Nanotechnologies in the modern world” helps to increase the efficiency of independent work, provide visualization of the learning process, improve the efficiency of learning management using the capabilities of the MOODLE system. Distance course “Nanotechnologies in the modern world” can be used for elective courses in the field of interdisciplinary research on physics and physical foundations of nanotechnology.

Keywords: physics, nanotechnology, distance course, course element, optional course, knowledge testing, knowledge assimilation, learning management system

PACS: 01.40.-d

References

1. Replication of band structure in an arbitrary wave vector by holographic modulation / Yoshitaka Kurosaka [et al.] // *Physical Review B*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.245310>.
2. Sun Xiao-Chen, Hu Xiao. Topological ring-cavity laser formed by honeycomb photonic crystals // *Physical Review B*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.245305>.
3. Tunable Size Dependence of Quantum Plasmon of Charged Gold Nanoparticles / Song Ma [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2021. — apr. — Vol. 126, no. 17. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.126.173902>.
4. Designing Patchy Interactions to Self-Assemble Arbitrary Structures / Flavio Romano [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2020. — sep. — Vol. 125, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.118003>.

5. Deghi Sebastian E., Bustos-Marún Raúl A. Entropy current and efficiency of quantum machines driven by nonequilibrium incoherent reservoirs // *Physical Review B*. — 2020. — jul. — Vol. 102, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.102.045415>.
6. Transverse Scattering and Generalized Kerker Effects in All-Dielectric Mie-Resonant Metaoptics / Hadi K. Shamkhi [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2019. — may. — Vol. 122, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.122.193905>.
7. Kruk Sergey, Kivshar Yuri. Functional Meta-Optics and Nanophotonics Governed by Mie Resonances // *ACS Photonics*. — 2017. — nov. — Vol. 4, no. 11. — P. 2638–2649. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.7b01038>.
8. Kivshar Yuri. All-dielectric meta-optics and non-linear nanophotonics // *National Science Review*. — 2018. — jan. — Vol. 5, no. 2. — P. 144–158. — URL: <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy017>.
9. Multipolar response of nonspherical silicon nanoparticles in the visible and near-infrared spectral ranges / Pavel D. Terekhov [et al.] // *Physical Review B*. — 2017. — jul. — Vol. 96, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.96.035443>.
10. Liu Wei, Kivshar Yuri S. Generalized Kerker effects in nanophotonics and meta-optics [Invited] // *Optics Express*. — 2018. — may. — Vol. 26, no. 10. — P. 13085. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.26.013085>.
11. 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>.
12. Nieto-Vesperinas M., Gomez-Medina R., Saenz J. J. Angle-suppressed scattering and optical forces on submicrometer dielectric particles // *Journal of the Optical Society of America A*. — 2010. — dec. — Vol. 28, no. 1. — P. 54. — URL: <https://doi.org/10.1364/josaa.28.000054>.
13. Huygens optical elements and Yagi—Uda nanoantennas based on dielectric nanoparticles / A. E. Krasnok [et al.] // *JETP Letters*. — 2011. — dec. — Vol. 94, no. 8. — P. 593–598. — URL: <https://doi.org/10.1134/s0021364011200070>.
14. Resonant forward scattering of light by high-refractive-index dielectric nanoparticles with toroidal dipole contribution / Pavel D. Terekhov [et al.] // *Optics Letters*. — 2017. — feb. — Vol. 42, no. 4. — P. 835. — URL: <https://doi.org/10.1364/ol.42.000835>.
15. Kerker Effect in Ultrahigh-Field Magnetic Resonance Imaging / Marc Dubois [et al.] // *Physical Review X*. — 2018. — sep. — Vol. 8, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevx.8.031083>.
16. Ultra-directional forward scattering by individual core-shell nanoparticles / Wei Liu [et al.] // *Optics Express*. — 2014. — jun. — Vol. 22, no. 13. — P. 16178. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.22.016178>.
17. Pors Anders, Andersen Sebastian K. H., Bozhevolnyi Sergey I. Unidirectional scattering by nanoparticles near substrates: generalized Kerker conditions // *Optics Express*. — 2015. — oct. — Vol. 23, no. 22. — P. 28808. — URL: <https://doi.org/10.1364/oe.23.028808>.

18. Picardi Michela F., Zayats Anatoly V., Rodríguez-Fortuño Francisco J. Janus and Huygens Dipoles: Near-Field Directionality Beyond Spin-Momentum Locking // *Physical Review Letters*. — 2018. — mar. — Vol. 120, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.120.117402>.
19. 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>.
20. Invited Article: Broadband highly efficient dielectric metadevices for polarization control / Sergey Kruk [et al.] // *APL Photonics*. — 2016. — jun. — Vol. 1, no. 3. — P. 030801. — URL: <https://doi.org/10.1063/1.4949007>.
21. Recent advances in planar optics: from plasmonic to dielectric metasurfaces / Patrice Genevet [et al.] // *Optica*. — 2017. — jan. — Vol. 4, no. 1. — P. 139. — URL: <https://doi.org/10.1364/optica.4.000139>.
22. Staude Isabelle, Pertsch Thomas, Kivshar Yuri S. All-Dielectric Resonant Meta-Optics Lightens up // *ACS Photonics*. — 2019. — mar. — Vol. 6, no. 4. — P. 802–814. — URL: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.8b01326>.
23. Multipole analysis of dielectric metasurfaces composed of nonspherical nanoparticles and lattice invisibility effect / Pavel D. Terekhov [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — jan. — Vol. 99, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.99.045424>.
24. Significance of the nonlocal optical response of metal nanoparticles in describing the operation of plasmonic lasers / Dasuni Lelwala Gamacharige [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — mar. — Vol. 99, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.99.115405>.
25. Perfect electromagnetic absorption using graphene and epsilon-near-zero metamaterials / Michael Lobet [et al.] // *Physical Review B*. — 2016. — jun. — Vol. 93, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.93.235424>.
26. Flexible transparent graphene/polymer multilayers for efficient electromagnetic field absorption / K. Batrakov [et al.] // *Scientific Reports*. — 2014. — nov. — Vol. 4, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/srep07191>.
27. Robust electromagnetic absorption by graphene/polymer heterostructures / Michaël Lobet [et al.] // *Nanotechnology*. — 2015. — jun. — Vol. 26, no. 28. — P. 285702. — URL: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/26/28/285702>.
28. Smolyaninov Igor I., Smolyaninova Vera N. Metamaterial superconductors // *Physical Review B*. — 2015. — mar. — Vol. 91, no. 9. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.91.094501>.
29. Nanoscale Directional Motion towards Regions of Stiffness / Tienchong Chang [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2015. — jan. — Vol. 114, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.114.015504>.
30. Stabilization and Manipulation of Electronically Phase-Separated Ground States in Defective Indium Atom Wires on Silicon / Hui Zhang [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2014. — nov. — Vol. 113, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.113.196802>.

31. Delerue Christophe. Prediction of robust two-dimensional topological insulators based on Ge/Si nanotechnology // *Physical Review B*. — 2014. — aug. — Vol. 90, no. 7. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.90.075424>.
32. Auffèves A., Richard M. Optical driving of macroscopic mechanical motion by a single two-level system // *Physical Review A*. — 2014. — aug. — Vol. 90, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.90.023818>.
33. Gerosa Matteo, Bottani Carlo Enrico. Multiple light scattering and near-field effects in a fractal treelike ensemble of dielectric nanoparticles // *Physical Review B*. — 2013. — may. — Vol. 87, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.87.195312>.
34. Büsser C. A., Feiguin A. E. Designing a symmetry-protected molecular device // *Physical Review B*. — 2012. — oct. — Vol. 86, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.86.165410>.
35. Yi Xin, Shi Xinghua, Gao Huajian. Cellular Uptake of Elastic Nanoparticles // *Physical Review Letters*. — 2011. — aug. — Vol. 107, no. 9. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.107.098101>.
36. Tricarico Simone, Bilotti Filiberto, Vegni Lucio. Reduction of optical forces exerted on nanoparticles covered by scattering cancellation based plasmonic cloaks // *Physical Review B*. — 2010. — jul. — Vol. 82, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.82.045109>.
37. Alù Andrea, Engheta Nader. All Optical Metamaterial Circuit Board at the Nanoscale // *Physical Review Letters*. — 2009. — sep. — Vol. 103, no. 14. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.103.143902>.

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.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

@auxrussian@auxenglish