

УДК 535.3
ББК 22.343
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 01.04.05

Разработка элементов дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE

К. К. Алтунин , Т. А. Колесова  ¹

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

Поступила в редакцию 4 февраля 2022 года

После переработки 20 февраля 2022 года

Опубликована 5 марта 2022 года

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

Ключевые слова: курс, дистанционный курс, элемент курса, нанoeлектроника, нанотехнология, полупроводниковые компоненты, банк вопросов, банк заданий, система управления обучением, развитие мышления, развитие творческих способностей

PACS: 42.25.Bs

Введение

В настоящее время интенсивно развивается система дистанционного сопровождения изучения курсов физико-математической тематики. В связи с развитием технологий смешанного обучения и эпидемиологической обстановкой становится актуальной задача создания дистанционного курса по физической нанoeлектронике.

¹E-mail: tatyana.kolesova.2018@gmail.com

Целью работы является разработка дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE. В задачи исследования входит создание теоретических материалов по физической нанoeлектронике, разработка элементов дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE.

Объектом исследования являются курс физической нанoeлектроники. Предметом исследования является процесс создания дистанционного курса по физической нанoeлектронике.

Гипотеза исследования состоит в том, что если создать и использовать дистанционный курс “Физическая нанoeлектроника”, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения нанoeлектроники, то можно повысить познавательный интерес студентов университетов к курсу по физической нанoeлектронике и реализовать систему смешанного обучения нанoeлектронике.

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

В качестве методов исследования используется анализ теоретических материалов по физической нанoeлектронике, синтез различных концепций описания физических процессов производства элементов физической нанoeлектроники, проектирование дистанционного курса по физической нанoeлектронике. В качестве материалов исследования используются теоретические материалы по физической нанoeлектронике.

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

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

Обзор литературы по нанoeлектронике

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.

Нанoeлектроника — 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. Нанoeлектроника охватывает квантовомеханические свойства гибридных материалов, полупроводников, одномерных нанотрубок, нанопроволок. Развитая нанoeлектроника может применяться в различных областях и особенно полезна для обнаружения болезнетворных агентов и биомаркеров болезней.

Первым обсуждением молекулярной нанoeлектроники 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.

Наноэлектроника 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 наноэлектроники часто имеют размер всего несколько нанометров. Однако чем меньше становятся электронные компоненты наноэлектронных приборов и устройств, тем сложнее их производить. Наноэлектроника 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 макром мире. Квантовые эффекты, такие как туннелирование и атомистический беспорядок, доминируют в характеристиках этих наноразмерных устройств.

Отрасль наноэлектроники 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 @auxrussian@auxenglish[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 дру-

гим 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 микрон 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, пироклор 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 квадрупольей, 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 нанолазмонный 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 металлической 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 прогннцаемости, 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 привести 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 из 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 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 наноимпринты определенные канавки в рамках современной нанотехнологии.

Разработка структуры и элементов дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE

В работе рассматривается технология создания дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE. Под проектированием дистанционного курса по физической нанoeлектронике понимают процесс разработки дистанционного курса, в котором активно используются автоматизированные методы контроля в ходе продвижения при изучении курса по физической нанoeлектронике. Основные задачи изучения курса по физической нанoeлектронике состоят в развитии логики теоретического мышления, интуиции, творческих способностей, овладении системой знаний и умений по физической нанoeлектронике. Основной подход к изучению физической нанoeлектроники с использованием информационных технологий заключается в увеличении визуальной воспринимаемой студентом информации посредством использования дистанционного курса в процессе изучения нанoeлектроники в университете. Применение формата системы управления обучением MOODLE на проблемно-ориентированной основе обеспечивает прозрачность результатов, включая тестирование в формате активного, операционального, рефлексивного обучения.

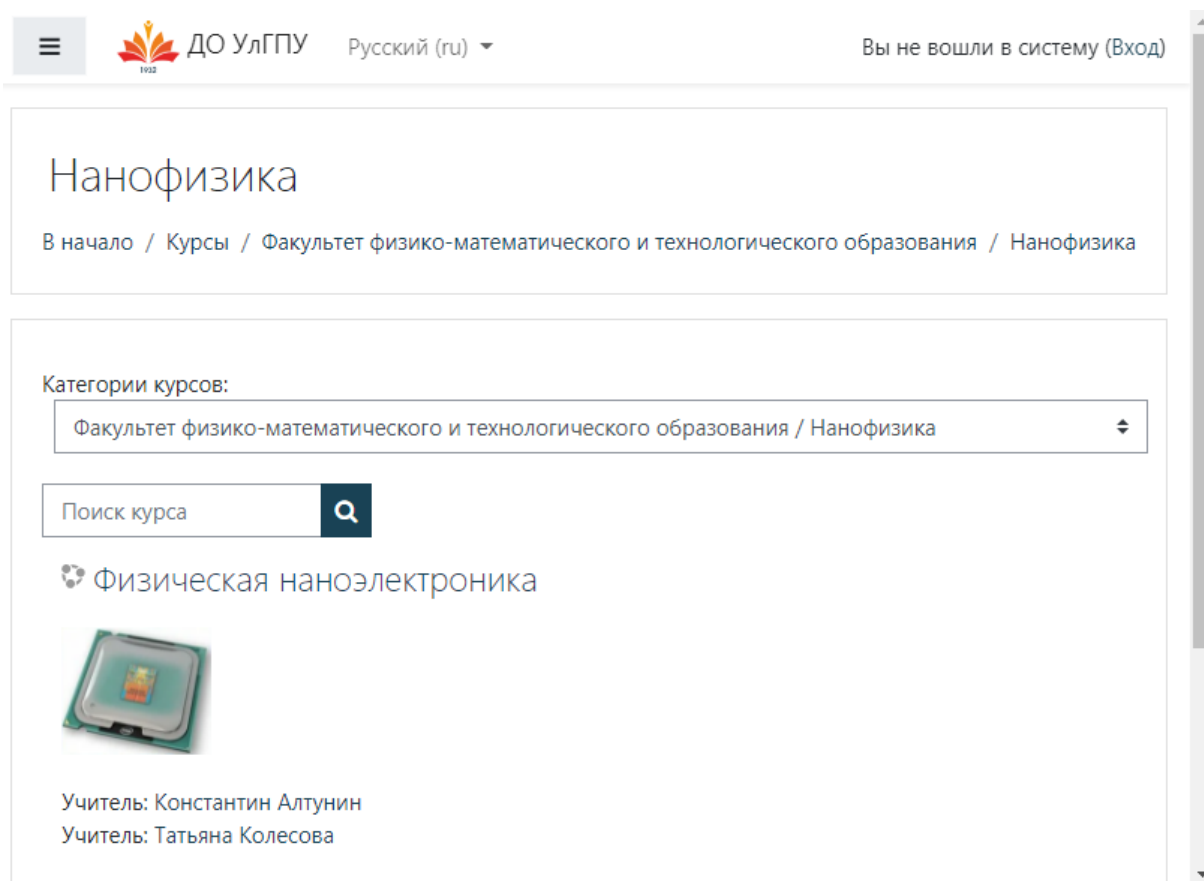


Рис. 1. Входная страница дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

Структура дистанционного курса по физической нанoeлектронике включает в себя специальным образом сформированные модули, содержащие тематические связанные материалы и элементы контроля в виде тестов, задач и заданий. На рис. 1 приведено изображение входной страницы дистанционного курса по физической нанoeлектронике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

На первом этапе создания дистанционного курса производится определение целей и задач, которые необходимо реализовать в процессе проектирования дистанционного курса. На втором этапе создания дистанционного курса производится разработка структуры дистанционного курса в строгом соответствии с выбранной тематикой и объёмом курса по физической нанoeлектронике. На третьем этапе создания дистанционного курса по физической нанoeлектронике производится разработка содержания блоков дистанционного курса по тематическим модулям и темам. На четвёртом этапе создания дистанционного курса производится визуализация полученной структуры в наглядном виде для планомерного контроля наполнения различных модулей и тем курса по физической нанoeлектронике. 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 по физической нанoeлектронике, создание банка тестов, компоновка тестов по темам и модулям. На девятом этапе создания дистанционного курса производится апробация дистанционного курса в учебном процессе. На десятом этапе создания дистанционного курса производится корректирование содержания и выявление недостатков дистанционного курса.

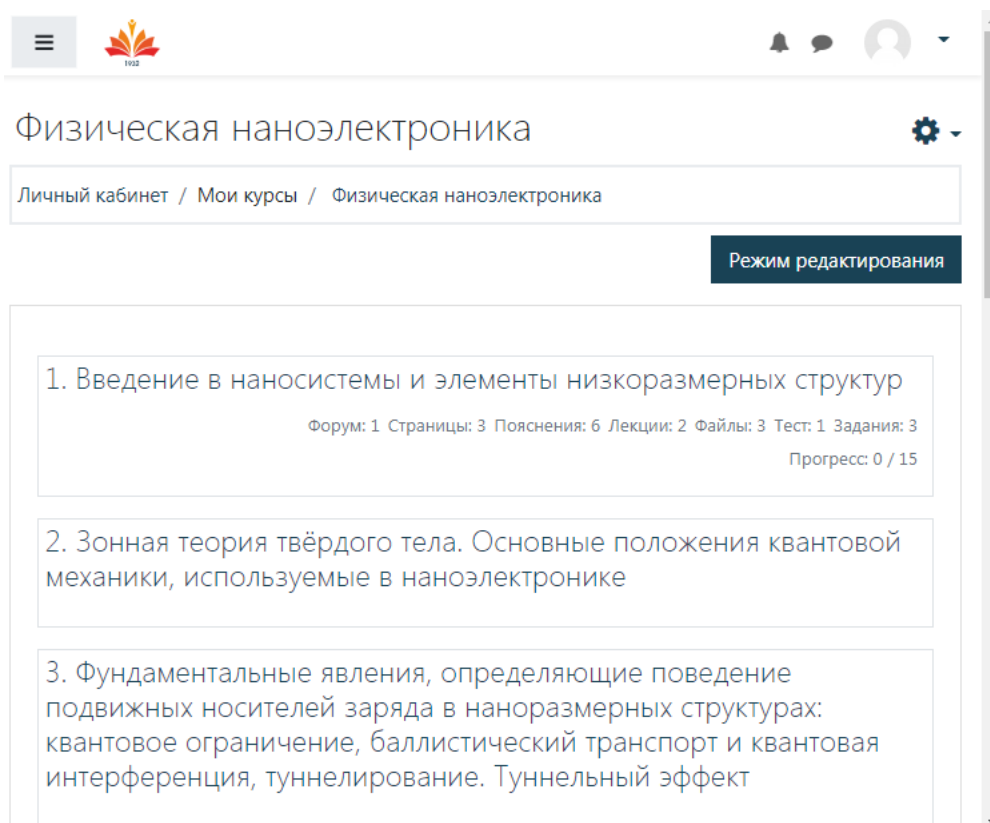


Рис. 2. Часть перечня тематических модулей дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение части перечня тематических модулей дистанционного курса по физической нанoeлектронике, созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

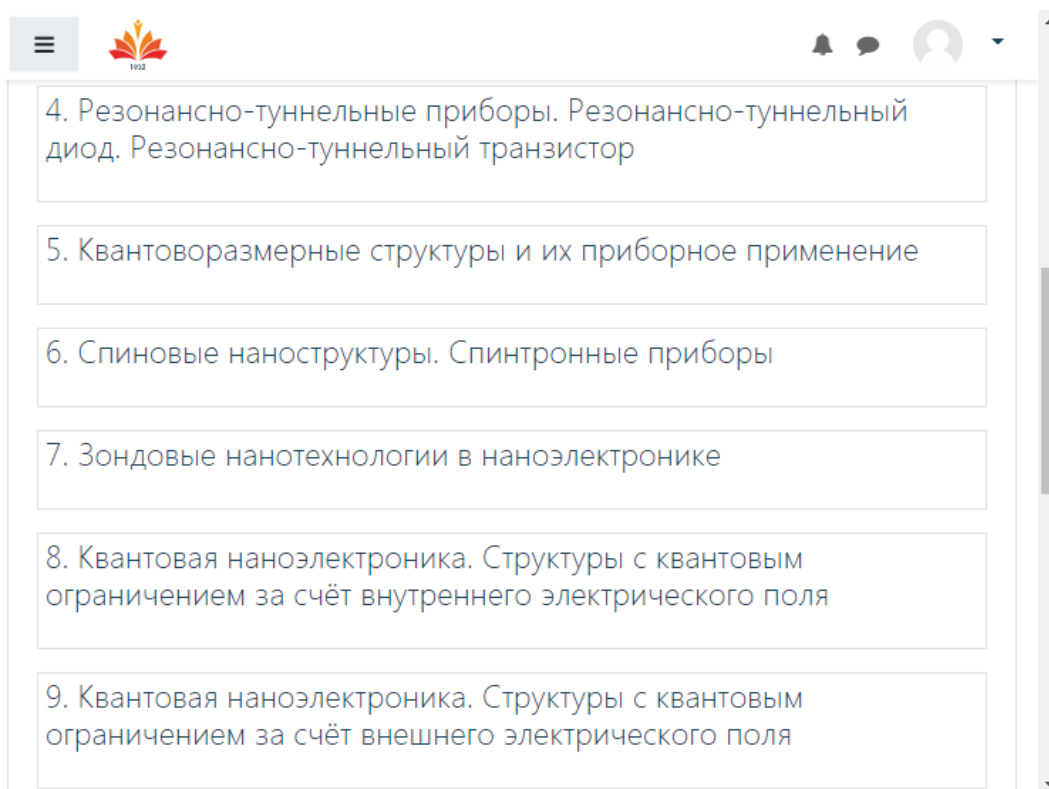


Рис. 3. Вторая часть перечня тематических модулей дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 приведено изображение второй части перечня тематических модулей дистанционного курса по физической наноэлектронике, созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 4 приведено изображение страницы с частью элементов одной из тем в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике, созданного в системе управления обучением в системе управления обучением MOODLE.

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 наноэлектроники. Применение дистанционного курса по физической наноэлектронике обеспечивает обучение студентов университета в удобном темпе и выбранном уровне материала. Дистанционный курс по физической наноэлектронике позволяет успешно решить задачу построения индивидуальных образовательных траекторий для студентов.

Дистанционный курс по физической наноэлектронике представляет собой структурированную совокупность гипертекстовых страниц, в которых заключен необходимый теоретический материал, справочные таблицы, рисунки, информационно-справочные материалы по физической наноэлектронике, тесты и элементы навигации средствами системы управления обучением MOODLE. Закрывая и открывая модули можно поддерживать темп продвижения по курсу по физической наноэлектронике средствами системы управления обучением 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 физической наноэлектронике содержит гиперссылки на статьи глоссария. Весь теоретический материал по физической наноэлектронике можно разделены на темы, а каждая из тем, в свою очередь, делится на модули, а модули могут подразделяться на подтемы.

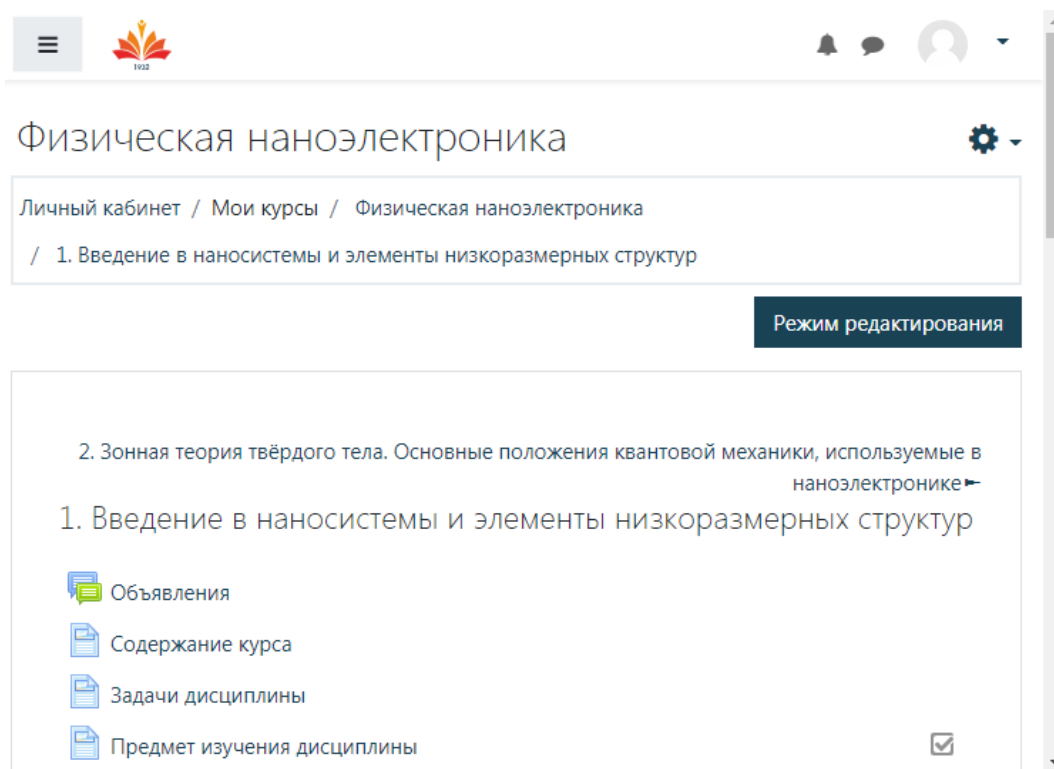


Рис. 4. Элементов одной из тем в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

В дистанционном курсе по физической наноэлектронике 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 физической наноэлектронике 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 физической наноэлектронике, гиперссылки на внешние электронные источники информации.

Рассмотрим результат разработки элементов контроля в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе управления обучением MOODLE. Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по физической наноэлектронике включает элементы, содержащие следующие контролируемые элементы: тестовые задания для организации промежуточного и итогового контроля по физической наноэлектронике. Правильная подборка физических задач и заданий в каждом тематическом модуле курса поможет закрепить изученный материал и подготовить студента с помощью курса по физической наноэлектронике.

На первом этапе создания банка заданий и вопросов производится определение целей и задач, для которых будет использоваться банка заданий и вопросов. Банк вопросов, предназначенный для стандартного тестового контроля, и банк вопросов, предназначенный для тестового контроля заданий разного уровня и тематического содержания, будут существенно различаться. На втором этапе создания банка заданий и вопросов производится разработка тематической структуры банка заданий и вопросов в соответствии с выбранными целями и задачами. На третьем этапе создания банка заданий и вопросов производится разработка содержания тестовых заданий и вопросов в составе банка вопросов и заданий. На четвертом этапе создания банка заданий и вопросов производится наполнение банка вопросов и заданий различными типами вопросов и

заданий. На пятом этапе создания банка заданий и вопросов производится создание тестов в составе моделей и тем курса по физической нанoeлектронике. На шестом этапе создания банка заданий и вопросов производится отладка тестов в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике. На седьмом этапе создания банка заданий и вопросов производится разработка методических рекомендаций по использованию тестов в составе моделей и тем курса по физической нанoeлектронике. На восьмом этапе создания банка заданий и вопросов производится апробация банка тестовых вопросов и заданий по физической нанoeлектронике в учебном процессе. На девятом этапе создания банка заданий и вопросов производится корректирование содержания и выявление недостатков банка тестовых вопросов и заданий в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике.

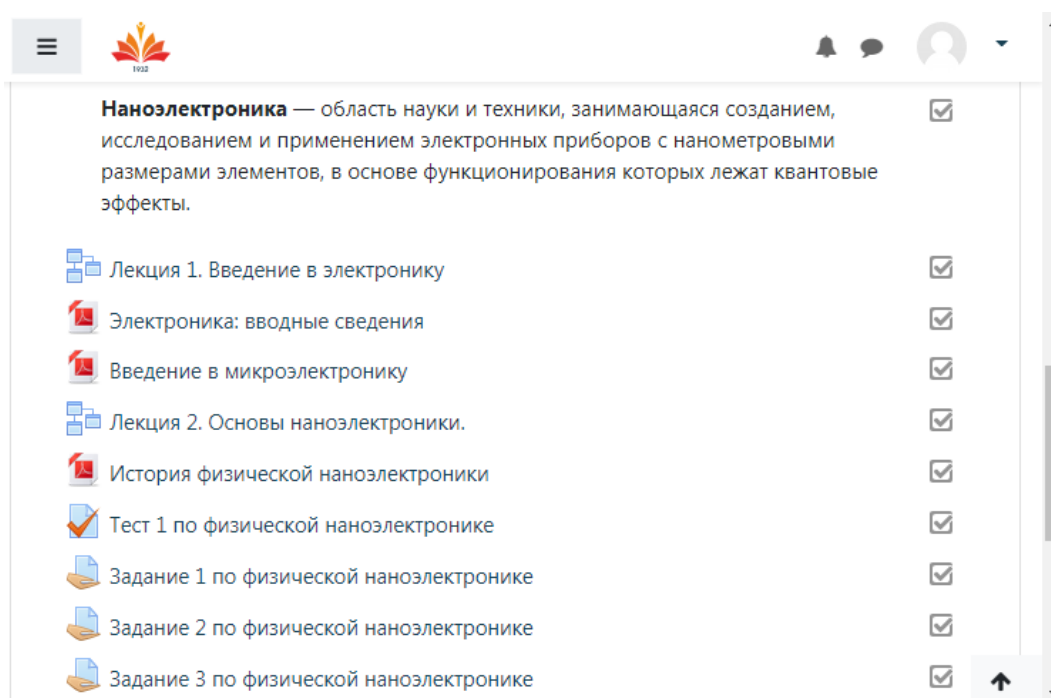


Рис. 5. Элементы в виде лекций, файлов с теоретическими сведениями, тестом и заданиями в одной из тем в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 5 приведено изображение страницы с элементами в виде лекций, файлов с теоретическими сведениями, тестом и заданиями в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике, созданного в системе управления обучением в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение части лекции по основам нанoeлектроники в одной из тем в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 7 приведено изображение внедрённого файла с теоретическими сведениями по введению в микроэлектронику в одной из тем в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 8 приведено изображение вопросов 1 и 2 из теста по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 9 приведено изображение тестового вопроса 3 задания 1 в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе системы управления обучением MOODLE. Задание 1 сводится к составлению конспекта лекции и таблицы с элементами анализа материалов лекции.

The screenshot shows a Moodle course page titled "Физическая наноэлектроника". The breadcrumb trail is: "Личный кабинет / Мои курсы / Физическая наноэлектроника". Below this, there are links for "1. Введение в наносистемы и элементы низкоразмерных структур" and "Лекция 2. Основы наноэлектроники / Редактировать / Свернуто / Редактировать". The main content area is titled "Лекция 2. Основы наноэлектроники" and contains the following text:

Наноматериалы.

Наноматериалы — материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, обусловленными присутствием этих частиц в материале. К наноматериалам относят объекты, один из характерных размеров которых лежит в интервале от 1 до 100 нм.

Описание.

Способы получения наноматериалов можно разделить на две группы:

- «сборка из атомов»
- «диспергирование макроскопических материалов».

Согласно 7-й Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004), выделяют следующие типы наноматериалов:

- нанопористые структуры;
- наночастицы;
- нанотрубки, нановолокна и наноленты;
- нанодисперсии (коллоиды);
- наноструктурированные поверхности и плёнки;
- нанокристаллы и нанокластеры.

Рис. 6. Лекция по основам наноэлектроники в одной из тем в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 10 приведено изображение заданий 2 и 3 в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

Можно подчеркнуть, что специфика курса по физической наноэлектронике осуществляется с помощью компьютера с выходом в Интернет. Возможно применение синхронной и асинхронной методик дистанционного обучения в рамках курса дистанционного курса по физической наноэлектронике. Существуют особые формы занятий, применяемых в дистанционном обучении. К ним можно отнести чат-занятия и веб-занятия, то есть занятия с использованием современных коммуникационных технологий. Эти типы дистанционных занятий подразумевают текстовое, голосовое или видео-общение при изучении дистанционного курса. Примером занятия такого типа может послужить проведение видеоконференции для обсуждения заданий дистанционного курса дистанционного курса по физической наноэлектронике. Эта форма наиболее приближена к очному обучению, где учитель физики в режиме реального времени передаёт информацию ученикам, задаёт и отвечает на вопросы по заданиям дистанционного курса по физической

Физическая наноэлектроника

Личный кабинет / Мои курсы / Физическая наноэлектроника

/ 1. Введение в наносистемы и элементы низкоразмерных структур

/ Введение в микроэлектронику

Введение в микроэлектронику

Микроэлектроника – это область электроники, охватывающая исследование, конструирование, производство и применение микроэлектронных изделий, основной разновидностью которых являются интегральные микросхемы.

Интегральная микросхема (ИМС) – микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, обработки сигналов и (или) накопления информации и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов), которое с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации рассматривается как единое целое.

Элемент – это часть ИМС, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента (транзистора, диода, резистора, конденсатора, катушки индуктивности), которая не может быть выделена как самостоятельное изделие.

Компонент – это часть ИМС, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая может быть выделена как самостоятельное изделие. Компоненты изготавливаются отдельно от ИМС и устанавливаются на подложку при изготовлении ИМС.

В составе микроэлектронных изделий эти основные элементы –

Рис. 7. Файл с теоретическими сведениями по введению в микроэлектронику в одной из тем в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

наноэлектронике. Для осуществления данного вида уроков существует множество программ таких, как Zoom, Skype для осуществления видеосвязи, интерактивные доски для совместных записей в ходе обсуждения решения задач по физической наноэлектронике. Современные платформы позволяют записывать занятия, чтобы можно было в удобное время пересмотреть, повторить материал, что является несомненным плюсом, по сравнению с традиционным методом аудиторного обучения. Когда невозможно провести онлайн занятия, используется методика асинхронного дистанционного обучения. При применении данной методики больше ответственности за прохождение обучения возлагается на самостоятельность учащегося. На первый план выдвигается самообучение, индивидуальный темп обучения, а также регулирования темпа движения студента по курсу.

Одним из положительных моментов использования дистанционной формы обучения физической наноэлектронике является то, что ученики могут выполнять задания в удобное для них время с необходимыми перерывами. Преподаватель может своевременно отслеживать продвижение своих студентов.

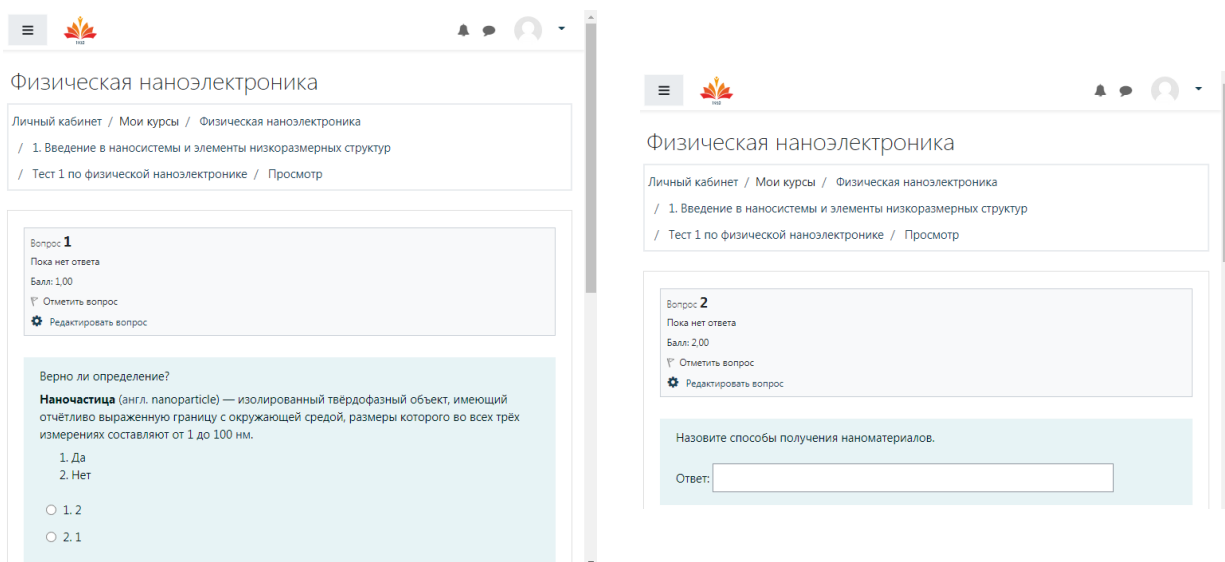


Рис. 8. Вопрос 1 и вопрос 2 из теста по физической наноэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

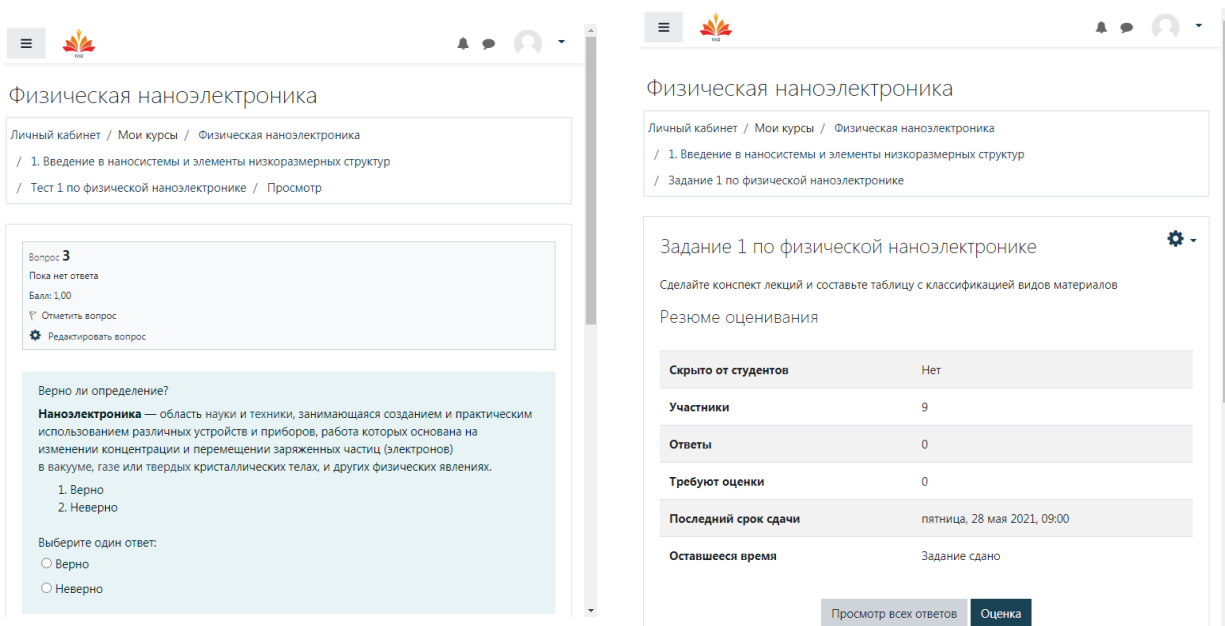


Рис. 9. Тестовый вопрос 3 и задание 1 в составе дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

Заключение

В настоящей работе проведено всестороннее исследование дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе управления обучением MOODLE. В работе описан результат разработки дистанционного курса по физической наноэлектронике, который готов к началу использования в учебном процессе в университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по физической наноэлектронике. Дистанционный курс по физической наноэлектронике, созданный в системе управления обучением MOODLE, способствует систематизации хранения учебного материала по физической наноэлектронике. При изучении курса наноэлектроники система дистанционного обучения MOODLE приносит то, что кроме основного курса по изучаемой дисциплине,

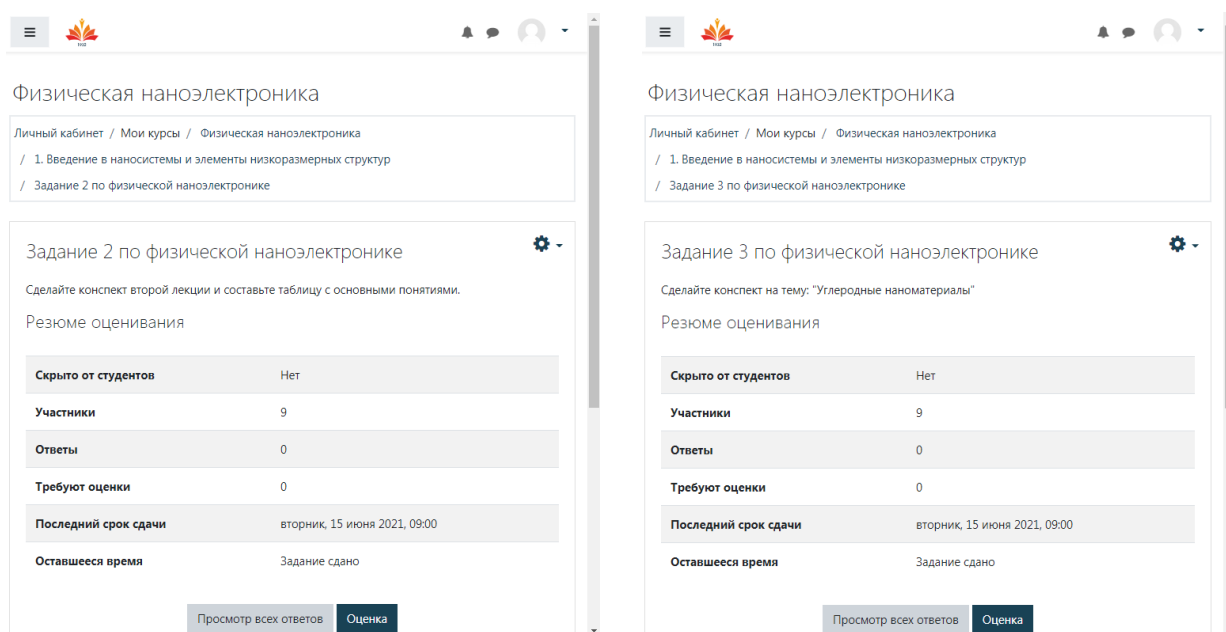


Рис. 10. Задания 2 и 3 в составе дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

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. Система управления обучением MOODLE позволяет открывать и закрывать тематические модели в соответствии со временем изучения, что позволяет поддерживать необходимый темп продвижения по курсу физической нанoeлектроники. В качестве подтверждения гипотезы исследования спроектирован дистанционный курс по физической нанoeлектронике, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения физической нанoeлектроники, позволяющий повысить познавательный интерес студентов к физической нанoeлектронике по традиционной, смешанной и дистанционной формам обучения с применением компьютеров. Дистанционный курс по физической нанoeлектронике, созданный в системе управления обучением MOODLE, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя в процессе преподавания учебных дисциплин физико-математической направленности.

Выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. проведённый анализ научной литературы по нанoeлектронике показал существование возрастающих потребностей в создании курсов по физической нанoeлектронике для различных уровней образования,
2. разработан оригинальный дистанционный курс по физической нанoeлектронике, который готов к началу использования в учебном процессе педагогического университета по специальностям бакалавриата физико-математического профиля подготовки.

Использование дистанционного курса по физической нанoeлектронике 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 физической нанoeлектронике.

Гипотеза исследования состоящая в том, что если создать и использовать дистанционный курс “Физическая нанoeлектроника”, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения физической нанoeлектроники, то можно повысить познавательный интерес студентов университетов к курсу по физической нанoeлектронике и реализовать систему смешанного обучения физической нанoeлектронике, подтверждена полностью.

Созданный дистанционный курс по физической нанoeлектронике позволит планировать, организовывать и проводить изучение теоретического материала курса по физической нанoeлектронике в дистанционной или смешанной форме обучения. Разработанный дистанционный курс по физической нанoeлектронике может занять особое место среди дистанционных курсов по физико-математической тематике, предназначенных для студентов физико-математических профилей подготовки университетов. По итогам разработки дистанционного курса по физической нанoeлектронике в системе управления обучением MOODLE можно сделать вывод о наличии элементов для эффективного контроля знаний по физической нанoeлектронике в составе дистанционного курса в системе управления обучением 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», Ульяновск, Россия.

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

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

E-mail: tatyana.kolesova.2018@gmail.com

ORCID iD  0000-0002-7763-2909

Web of Science ResearcherID  AAY-8437-2021

Development of elements of a distance course on physical nanoelectronics in the learning management system MOODLE

K. K. Altunin , T. A. Kolesova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted February 4, 2022

Resubmitted February 20, 2022

Published March 5, 2022

Abstract. The result of the development of elements of a distance course on physical nanoelectronics using the tools of the learning management system MOODLE is considered. Theoretical and methodological features of creating a distance course on physical nanoelectronics 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 physical nanoelectronics are used. The modular structure of the distance course on physical nanoelectronics in the learning management system MOODLE was designed in accordance with the requirements for electronic educational resources on the basis of a systematized, digitized and structured educational material on physical nanoelectronics. The theoretical part of the course on physical nanoelectronics, 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 allows organizing a systematic study of the course on physical nanoelectronics by maintaining the pace of studying the course using the learning management system MOODLE. The developed bank of questions and tasks of the course on physical nanoelectronics allows organizing systematic control in the process of studying the course by maintaining the pace of studying the course on physical nanoelectronics using the learning management system MOODLE.

Keywords: course, distance course, course element, nanoelectronics, nanotechnology, semiconductor components, bank of questions, bank of tasks, learning management system, development of thinking, development of creative abilities

PACS: 42.25.Bs

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-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. 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, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416


Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

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

E-mail: tatyana.kolesova.2018@gmail.com

ORCID iD  0000-0002-7763-2909

Web of Science ResearcherID  AAY-8437-2021