

Научная статья
УДК 53.01
ББК 22.31
ГРНТИ 29.01.45
ВАК 05.13.00
PACS 01.40.Di
OCIS 310.6845
MSC 00A79

Разработка дистанционного курса по оптике нанопокровтий

К. К. Алтунин^{id}, Е. С. Штром^{id}¹

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

Поступила в редакцию 15 мая 2023 года

После переработки 17 мая 2023 года

Опубликована 5 июня 2023 года

Аннотация. Обсуждаются результаты разработки дистанционного курса по оптике нанопокровтий в системе управления обучением MOODLE. Описаны результаты разработки модульной структуры и материалов дистанционного курса «Оптика нанопокровтий», созданного для информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокровтий» в процессе практико-ориентированной подготовки педагога в бакалавриате педагогического университета в условиях смешанного обучения в университете. Представлено описание избранных элементов дистанционного курса по оптике нанопокровтий в системе управления обучением MOODLE. Использование дистанционного курса по оптике нанопокровтий открывает возможность реализации смешанного обучения по оптике тонкослойных и наноструктурных покровтий в университете.

Ключевые слова: физика, оптика, нанопокровтие, оптика нанопокровтий, система управления обучением, дистанционный курс

Введение

Целью исследования является описание процесса разработки дистанционного курса «Оптика нанопокровтий». Задача исследования состоит в разработке модульной структуры и материалов дистанционного курса «Оптика нанопокровтий» в системе управления обучением MOODLE.

Объектом исследования является дистанционный курс «Оптика нанопокровтий».

Предметом исследования является процесс создания информационных и контролирующих элементов дистанционного курса по оптике нанопокровтий в системе управления обучением MOODLE.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать дистанционный курс «Оптика нанопокровтий», созданный в системе управления обучением MOODLE, то

¹E-mail: shtrom98@mail.ru

можно оптимизировать процесс информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокровтий».

Практическая значимость исследования заключается в том, что апробирован и внедрён в педагогическую практику университета дистанционный курс по оптике нанопокровтий, созданный на основе теоретических материалов по оптическим свойствам наноструктурных покровтий и наносистем. Использование дистанционного курса по оптике нанопокровтий открывает возможность реализации смешанного обучения по оптике тонкослойных и наноструктурных покровтий.

Базой создания информационной поддержки преподавания оптики тонкослойных и наноструктурных покровтий является система управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Обзор работ по оптическим свойствам тонких плёнок

В статье [1] представлена тонкая магнитная плёнка с слабой ферримагнитной фазой выше температуры Нееля ($T_N = 240$ К) и неколлинеарной антиферромагнитной фазой ниже, демонстрирующей небольшую чистую намагниченность из-за скоса магнитных моментов, связанного с деформацией. Дальнеупорядоченная ферримагнитная фаза была предсказана в родственных материалах, но без анализа симметрии. Теперь мы выполняем этот анализ и используем его для расчета спектров магнитооптического эффекта Керра в антиферромагнитной и ферримагнитной фазах. Исходя из хорошего соответствия между формой измеренного и предсказанного спектров магнитооптического эффекта Керра, предполагается, что антиферромагнитная и ферримагнитная фазы имеют общую магнитную пространственную группу $C2'/m'$ и что магнитооптические и магнитотранспортные свойства, обусловленные симметрией, максимальны при комнатной температуре в ферримагнитной фазе из-за ненулевого вклада собственной фазы Берри, присутствующего в этих материалах. Ферримагнетик комнатной температуры с большими оптическими и транспортными характеристиками, а также чувствительностью к деформации решётки и магнитному полю имеет полезные перспективы для приложений высокоскоростной спинтроники.

В течение десятилетий исследователи изучали нестабильность формирования рисунка в тонких пленках со свободной поверхностью в надежде разработать альтернативные методы литографии для приложений, требующих пределов разрешения только в субмикронном диапазоне. Предыдущие исследования показали, как можно изменять шаг и форму элементов в массиве, регулируя величину поверхностных сил и время роста до затвердевания на месте. Поскольку образования естественным образом возникают из исходной плоской расплавленной пленки, окончательные массивы имеют сверхгладкие границы раздела и поэтому идеально подходят для приложений формирования луча, таких как тонкоплёночная микрооптика. Однако прогресс в этой области застыл из-за самой природы процесса формирования. Даже когда большое внимание уделяется тому, чтобы исходные пленки были бездефектными, окончательные массивы по-прежнему демонстрируют неприемлемую изменчивость шага, формы и высоты из-за повсеместных источников шума, ответственных за нестабильность и рост. В работе [2] приведено описание термокапиллярной нестабильности в тонких расплавленных пленках, подвергающихся воздействию очень большого температурного градиента. В работе [2] начинается обсуждение и демонстрация того, почему эта нестабильность неразрывно приводит к сильно неупорядоченным массивам, даже если она инициализирована пленкой с очень малой амплитудой шероховатости поверхности. В статье [2] показано, как пространственно-периодическая модуляция теплового поля, реализованная тремя различными способами, может вызывать синхронный рост очень однородных периодических массивов, несмотря на зашумлённые начальные условия. Результаты, основанные

на линейном и слабонелинейном анализе устойчивости, анализе блоховских волн и прямом численном моделировании уравнения интерфейса, показывают, как резонансные длины волн, возникающие между модуляцией и управляющими полями нестабильности, ответственны за такой быстрый и когерентный рост. Дополнительным преимуществом является то, что поле модуляции может быть выбрано так, чтобы шаг решётки был намного меньше, чем в немодулированных системах.

С учётом электрооптических модуляторов и переключателей, работающих в терагерцовом диапазоне частот, в статье [3] исследуем поглощение тонкой плёнки топологического изолятора, находящейся в постоянном электрическом поле. Принимая гамильтониан для трёхмерного класса топологических изоляторов Bi_2Se_3 , включая члены второго порядка по волновому вектору электрона и первого порядка по электрическому полю, в статье [3] представлена эффективная модель тонкой плёнки топологического изолятора. В статье [3] продемонстрированы различные влияния внешних электрических полей в плоскости и вне плоскости, дихроизм, индуцированный электрическим полем в плоскости, а также настройку электрического поля и химического потенциала края поглощения. Под действием внеплоскостного электрического поля плёнка топологического изолятора толщиной около 2 нм проявляет значительное поглощение на границе поглощения. Важнейшее практическое значение имеет то, что край поглощения можно сместить примерно на 0.3 эВ при приложении умеренных электрических полей примерно на 0.4 В/нм или при изменении химического потенциала примерно на 0.3 эВ.

Гибридные сверхпроводящие фотонные микрорезонаторы являются перспективной платформой для реализации преобразования микроволнового излучения в оптическое. Однако поглощение рассеянных фотонов сверхпроводниками приводит к непреднамеренному изменению частоты микроволнового резонанса и уширению ширины линии. В статье [4] экспериментально изучается динамика этого эффекта и его влияние на преобразование микроволнового излучения в оптическое в интегрированной платформе гибридного резонатора ниобат лития-сверхпроводник. В статье [4] раскрывается адиабатический сдвиг частоты внутрирезонаторных микроволновых фотонов, вызванный быстрым фотооткликом тонкопленочного сверхпроводящего резонатора. В результате временные и спектральные характеристики электрооптической трансдукции модифицируются и хорошо описываются теоретической моделью. В статье [4] даётся представление о динамике индуцированного светом преобразования, которое необходимо учитывать в будущих конструкциях гибридной сверхпроводящей фотонной системы.

Управление напряжением и электрическим полем сверхбыстрой динамики намагничивания в магнитоэлектриках открывает новые возможности для электронной настройки с меньшим на порядки энергопотреблением, улучшенным временем отклика настройки и более компактным форм-фактором по сравнению с обычным управлением магнитным полем динамики намагничивания. Магнитоэлектрически настроенная динамика намагниченности, управляемая лазером, потенциально может обеспечить следующее поколение оптомагнитных устройств от терагерцовой связи до оптической магнитной записи. В статье [5] описаны результаты изготовления магнитоэлектрической гетероструктуры, в частности ферромагнитную тонкую плёнку, нанесённую на ферроэлектрическую подложку, чтобы изучить настройку электрического поля при сверхбыстром размагничивании и понять, как магнитная анизотропия изменяется после размагничивания. В статье [5] охарактеризована магнитоэлектрическая связь исследуемой гетероструктуры, чтобы продемонстрировать статическую и динамическую перестраиваемость намагниченности с приложенным электрическим полем. В статье [5] использован магнитооптический эффект Керра с временным разрешением, чтобы понять сверхбыстрый процесс размагничивания в различных приложенных электрических и магнитных

полях. Обычно наблюдаемое вызванное деформацией магнитное вращение легкой оси в ферромагнитной и сегнетоэлектрической гетероструктуре также наблюдалось для настройки сверхбыстрого размагничивания тонкой ферромагнитной пленки, нанесенной на ферроэлектрическую подложку, в эксперименте. Кроме того, в статье [5] обнаружено, что вращение намагниченности может быть достигнуто с более низким электрическим полем по сравнению со статической настройкой без лазерного нагрева. Кроме того, в статье [5] наблюдали петли гистерезиса после сверхбыстрого размагничивания и обнаружили, что магнитоэлектрическая гетероструктура демонстрирует смесь летучих и нелетучих свойств. Эти результаты проливают свет на потенциал магнитоэлектрической гетероструктуры для сверхбыстрых оптомагнитных устройств и настройки электрического поля спинтронных ТГц-излучателей.

Ансамбли мессбауэровских ядер, внедрённые в тонкоплёночные резонаторы, образуют перспективную платформу для рентгеновской квантовой оптики. Ключевой особенностью является то, что совместную систему ядро-полость можно рассматривать как искусственную рентгеновскую многоуровневую схему в режиме низкого возбуждения. Используя среду резонатора, структура и параметры таких схем уровней могут быть изменены по сравнению с теми, которые предлагаются голыми ядрами. Однако до сих пор прямое определение структуры резонатора, обеспечивающей желаемую квантово-оптическую функциональность, оставалось открытой задачей. В статье [6] решается эта проблема, используя методологию обратного проектирования. В качестве первого качественного результата мы показываем, что установленный подход к подгонке, основанный на наблюдаемых рассеяния, в целом не уникален, поскольку анализ может привести к различным многоуровневым системам для одного и того же резонатора, если он основан на наблюдаемых в разных каналах рассеяния. Руководствуясь этим, в статье [6] различаются сигнатуры рассеяния и схему микроскопического уровня как отдельные цели проектирования. В статье [6] считается, что обе цели проектирования имеют практическое значение и что они дополняют друг друга в отношении потенциальных применений. В статье [6] демонстрируется обратный дизайн для обеих целей, используя примеры задач, таких как реализация прозрачности, вызванной электромагнитным полем. В статье [6] показано, что полученные результаты открывают путь к будущим приложениям в ядерной квантовой оптике, включая более сложные конструкции рентгеновского резонатора.

В статье [7] сообщается о методе графической инженерии доменов с возможностью изготовления макроразмерных доменных структур с наноразмерным пространственным разрешением в тонкой плёнке ниобата лития с неполярным разрезом на изоляторах с помощью смещенного наконечника зонда сканирующей атомно-силовой микроскопии. Обнаружено, что процесс записи доменов асимметричен по отношению к спонтанной поляризации \mathbf{P}_s , даже несмотря на то, что поле полинга, индуцированное иглой, зеркально симметрично. Различные доменные структуры размером более миллиметров, состоящие из наноразмерных доменных элементов и с произвольным углом наклона доменных стенок по отношению к спонтанной поляризации \mathbf{P}_s , проектируются графически, а затем записываются непосредственно в кристаллы ниобата лития неполярной огранки. В качестве доказательства принципа была изготовлена периодически поляризованная тонкая плёнка ниобата лития x -среза на изоляторах с периодом 600 нм, глубиной 460 нм и длиной примерно 1 мм. Этот метод может быть полезен для приборных приложений в интегральной оптике и оптоэлектронике и наноэлектронике доменных стенок на основе ниобата лития на изоляторах.

Методы дифференциальной абсорбционной спектроскопии служат мощными методами изучения возбужденных частиц в органических солнечных элементах. Однако всегда было сложно использовать эти методы для характеристики органических солнеч-

ных элементов с толстым переходом, особенно когда задействован отражающий верхний контакт. В статье [8] представлено подробное и систематическое исследование того, как сочетание наличия эффекта интерференции и неоднородного профиля распределения заряда сильно влияет на экспериментальные спектры и динамику распада. Кроме того, в статье [8] предложена практическая методология для исправления этих оптических артефактов в спектроскопии дифференциального поглощения. Результаты и предлагаемый метод коррекции в целом применимы ко всем видам методов дифференциальной абсорбционной спектроскопии и различным тонкопленочным системам, таким как органика, перовскиты, кестериты и двумерные материалы. В частности, обнаружено, что форма дифференциальных спектров поглощения может сильно искажаться, начиная с толщины активного слоя 150 нм; это соответствует диапазону толщины органических солнечных элементов с толстым переходом и большинства перовскитных солнечных элементов, и его необходимо тщательно учитывать в экспериментах. Кроме того, обнаружено, что динамика затухания дифференциальных спектров поглощения при определенных условиях нарушается оптическими артефактами. С помощью предложенного формализма коррекции дифференциальные спектры и динамика затухания могут быть охарактеризованы на полном устройстве тонкопленочных солнечных элементов в режиме пропускания и давать точные и надежные результаты, чтобы обеспечить правила проектирования для дальнейшего прогресса.

В статье [9] представлена эффективная нелинейная модель коэффициента связанной моды для оценки и анализа процесса генерации второй гармоники по схеме квазифазового синхронизма в тонкой плёнке ниобата лития с периодической полярностью. Теоретическая модель выводится непосредственно из нелинейных уравнений связанных мод и упрощает процесс квазифазового синхронизма в тонкой плёнке ниобата лития с периодической полярностью. Результаты моделирования превосходно согласуются со строгими численными расчётами в различных ситуациях. В статье [9] также предложено использовать чирпированную периодически поляризованную тонкую плёнку ниобата лития для достижения генерации второй гармоники ультракоротких лазерных импульсов и разработать теорию широкополосных нелинейных связанных мод для оценки этого сложного процесса нелинейного взаимодействия. Все частотные компоненты основной волны и волны второй гармоники были рассмотрены в теории, и спектральная эволюция основной волны и волны второй гармоники может быть получена путём решения ряда нелинейных уравнений связанных мод. Чирпированная периодически поляризованная тонкая плёнка ниобата лития поддерживает широкополосное преобразование с повышением частоты в телекоммуникационных диапазонах и может генерировать широкополосные запутанные фотоны в инфракрасном диапазоне, что демонстрирует большой потенциал в оптической связи и квантовой оптике. Разработанные теории обеспечивают эффективный инструмент для проектирования и оптимизации периодически поляризованного ниобата лития и тонкой плёнки периодически поляризованного ниобата лития для различных приложений на основе нелинейного преобразования частоты и помогают достичь высокой эффективности встроенной генерации второй гармоники ультракороткого лазерного импульса.

Совсем недавно были получены малослойные плёнки селена и теллура, которые обеспечивают новую платформу для изучения новых свойств двумерных элементарных материалов. В статье [10] выполнено систематическое исследование первых принципов электронных, линейных и нелинейных оптических свойств атомарно тонких плёнок селена и теллура в рамках теории функционала плотности с обобщенным градиентным приближением плюс ножничная коррекция с использованием ширины запрещенной зоны из релятивистские гибридные функциональные расчёты Хейда-Скузериа-Эрнцергофа. Базовые атомные структуры этих материалов определяются теоретически

с использованием строго ограниченного и соответствующим образом нормированного обменно-корреляционного функционала. Интересно, что в статье [10] обнаружено, что малослойные Se и Te обладают большой генерацией второй гармоники, линейным электрооптическим эффектом и объемным фотогальваническим эффектом. Наконец, анализ рассчитанных электронных зонных структур показывает, что сильные нелинейные оптические отклики двумерных материалов Se и Te в первую очередь обусловлены их низкоразмерными структурами с высокой анизотропией, направленной ковалентной связью, неподеленной парой электронов и относительно небольшими полосу пропускания. Эти результаты обеспечивают практическую стратегию поиска превосходных материалов с нелинейно-оптическими и объёмными фотогальваническими эффектами.

За последние несколько лет ReS_2 вызвал множество вопросов, оставленных без внимания, относительно его структуры, сопутствующих электронных свойств, зависящих от толщины, и его явно контрастирующего экспериментального оптического отклика. В статье [11], с тщательными исследованиями первых принципов, используя теорию функционала плотности и теорию функционала плотности, зависящую от времени, идентифицируется структура ReS_2 , которая способна воспроизводить и анализировать зависящий от слоя оптический отклик. Теоретические результаты подтверждаются углубленным структурным, химическим, оптическим и оптоэлектронным анализом тонких плёнок ReS_2 большой площади. Микрорамановская, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, просвечивающая электронная микроскопия поперечного сечения и энергодисперсионный рентгеновский анализ позволили оптимизировать равномерный рост плёнок. Корреляция между оптическими и электронными свойствами была установлена с помощью измерений статической фотолюминесценции и переходного поглощения в возбуждённом состоянии. Локализованные среднещелевые состояния, индуцированные вакансиями серы, обеспечивают значительное время жизни экситонов в этих плёнках.

При разработке квантовых преобразователей, преобразующих микроволновое излучение в оптическое, основной проблемой остаётся подавление добавленного шума, вызванного оптическим возбуждением. В статье [12] сообщается об интегральной электрооптической схеме сверхпроводящего резонатора на основе монокристаллического тонкопленочного нитрида алюминия со сверхнизкими микроволновыми и оптическими потерями. В статье [12] демонстрируется эффективное двунаправленное преобразование микроволнового излучения в оптическое при температурах в милликельвины с тепловым возбуждением микроволн в состоянии, близком к основному, несмотря на то, что пиковая мощность оптического привода превышает охлаждающую способность смесительной камеры рефрижератора растворения. Динамическое исследование дополнительно раскрывает различные механизмы генерации светоиндуцированного шума и даёт важные рекомендации по оптимизации электрооптических схем в будущих гибридных микроволново-оптических квантовых каналах связи.

Фотолюминесцентная спектроскопия с высоким угловым разрешением является мощным инструментом для исследования свойств светоизлучающих тонкопленочных структур. Например, он может дать информацию об ориентации переходного дипольного момента в органических эмиссионных слоях, что является одним из важнейших параметров, определяющих эффективность органических светодиодов. В статье [13] представлено усовершенствование одной из основных экспериментальных конфигураций, используемых для таких измерений ориентации. Метод основан на пошаговом вращении оптически возбужденного слоя относительно детектора. Прикрепив образец к большому стеклянному полуцилиндру, можно извлечь свет, изначально захваченный подложкой. В статье [13] показано, что, вставив между полуцилиндром и детектором две дополнительные оптические линзы, можно улучшить отношение сигнал/шум примерно на порядок. В статье [13] получена модель лучевой оптики, которая описывает распространение

света в макроскопической установке и позволяет охарактеризовать влияние отклонений от теоретических идеальных конфигураций измерений. Численные предсказания экспериментально подтверждены анализом эмиссионных слоёв квантовых точек в качестве изотропного эталона и установленными молекулами органических эмиттеров с хорошо известными значениями ориентации.

Для поликристаллических тонких плёнок с обменным смещением макроскопические магнитные свойства возникают в результате сложного взаимодействия различных индивидуальных магнитных анизотропий, которые непосредственно связаны с распределением объёма зерен, а также с кристаллической и межфазной структурой системы слоёв. Количественное сравнение моделей, описывающих наблюдаемое на макроскопическом уровне обменное смещение с помощью вклада анизотропии, в большинстве случаев затруднено из-за пренебрежения их зависимостью от времени в отношении времени сбора и хранения данных. Используя недавно разработанную модель, в статье [14] показано, что можно связать зависящие от времени части преобладающей анизотропии с параметрами, описывающими поликристаллическую структуру системы слоёв. Модель будет сравниваться с экспериментами на прототипе бислоя IrMn/CoFe, где структурные и магнитные параметры систематически изменялись путём изменения скорости осаждения антиферромагнитного слоя и температуры охлаждения в поле. Комбинация измерений с угловым разрешением, полученных с помощью векторной магнитооптической керровской магнитометрии, и систематического анализа поликристаллической структуры позволяет выделить различные вклады анизотропии в макроскопическое обменное смещение и коэрцитивные поля и служит проверкой используемой модели.

Универсальные оптические устройства создаются из анизотропных и градиентных материалов на основе трансформационной оптики, которые обычно сложно реализовать. В статье [15], используя конформную эквивалентность, демонстрируется, что плоский оптический тонкоплёночный волновод с градиентным показателем преломления эквивалентен искривленному однородному оптическому тонкоплёночному волноводу для световых лучей. Такая взаимосвязь даёт альтернативный метод проектирования оптических устройств либо с неоднородной средой, либо с эквивалентно изогнутыми поверхностями, изготовленными только из однородного материала, что приводит к применению в оптических устройствах на кристалле. Кроме того, в статье [15] представлен прототип изогнутого оптического тонкоплёночного волновода без вращательной симметрии, который может служить вогнутой линзой. В статье [15] представлен конформный ландшафт двумерного градиентного профиля показателя преломления с точки зрения геометрической оптики.

В статье [16] спектроскопическая эллипсометрия и инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье были применены для извлечения сложных диэлектрических функций от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного диапазона высококачественных тонких кристаллических плёнок из распылённого оксида кадмия (In:CdO), легированного индием, на подложках MgO, обладающих плотностью носителей. Для идентификации и анализа трёх основных факторов, влияющих на диэлектрическую функцию и их зависимость от плотности легирования, в статье [16] использовалась модель с множественными осцилляторами: межзонные переходы в видимом диапазоне, возбуждения со свободными носителями (отклик Друде) в ближнем и дальнем инфракрасном диапазоне и инфракрасно-активные оптические фононы в дальнем инфракрасном диапазоне.

Спин-зависимым переносом заряда в магнитных туннельных переходах можно управлять с помощью градиента температуры, который можно использовать для приложений спинтроники и спиновой калоритроники. Для оценки термически индуцированных явлений необходимо знать разницу температур поперек оксидного туннельного барье-

ра, примыкающего к ферромагнитным выводам. В статье [17] получено, что электрон-фононная теплопроводность вблизи туннельного барьера лишь в 5-12 раз больше, чем теплопроводность оксидного туннельного барьера. Поэтому падение электронной температуры примерно на 20 – 30 % больше, чем падение фононной температуры через туннельный барьер.

Оптические поля, усиливаемые поверхностными плазмон-поляритонами, распространяющимися на границах раздела металла и диэлектрика, полезны для усиления нескольких взаимодействий света с веществом, и применение в нелинейной оптике является одним из наиболее важных применений этого типа структуры. В большинстве предыдущих исследований по этому вопросу использовалась нелинейная восприимчивость металлических поверхностей. Однако ограниченные длины взаимодействия света с веществом нелинейной оптики препятствовали переходу технологий к практическому использованию. В статье [18] предпринята попытка решить эту проблему путём выращивания тонких нелинейно-оптических полимерных плёнок на металлических поверхностях. Нелинейные оптические отклики системы характеризовались спектроскопией генерации второй гармоники. В статье [18] получены экспериментальные результаты, которые показали, что оптические поля, усиленные поверхностными плазмон-поляритонами, индуцируют не только поверхностные нелинейности в серебре, но и объёмные нелинейности в нелинейно-оптическом полимере. Существовала оптимальная толщина полимера для преобразования генерации второй гармоники, и большая толщина не всегда приводила к более высокому преобразованию. Максимальная эффективность преобразования была примерно в 40 раз выше, чем у чистой поверхности серебра без полимерного покрытия. Рост и распространение волн генерации второй гармоники были рассмотрены с помощью численного подхода, сочетающего метод матрицы переноса и анализ функции Грина. Эффективность преобразования генерации второй гармоники определялась тремя факторами: коэффициентом усиления поля поверхностных плазмон-поляритонов, длиной нелинейного взаимодействия света с веществом и степенью интерференции между прямой и обратной волнами генерации второй гармоники. Последние два фактора определяли преимущественно оптимальные коэффициенты преобразования генерации второй гармоники. Предлагаемая стратегия гибридизации нелинейно-оптических полимеров приближает к практическому использованию нелинейной плазмоники.

Магнитооптический эффект Керра — хорошо известный и удобный инструмент для характеристики ферромагнитных, ферримагнитных и антиферромагнитных материалов. Во многих методах магнитооптического эффекта Керра используются эффекты, исключительно линейные по намагниченности M . Тем не менее член более высокого порядка, пропорциональный M^2 и называемый квадратичным магнитооптическим эффектом Керра, может вносить дополнительный вклад в экспериментальные данные. В статье [19] представлены подробные измерения квадратичной магнитооптической спектроскопии эффекта Керра в диапазоне 0.8 – 5.5 эВ на основе модифицированного восьминаправленного метода, примененного к тонким плёнкам ферромагнитного ОЦК Fe, выращенным на подложках MgO.

В статье [20] исследованы магнитоплазмонные свойства массивов Ag-Co композитных нанотверстий. Наблюдается, что как плазмонные, так и магнитные свойства композитных массивов нанотверстий Ag-Co сильно зависят от соотношения в составе Ag и Co. Повышенное оптическое пропускание из-за плазмонного резонанса уменьшается с увеличением компонента Co, в то время как эффект вращения Фарадея увеличивается монотонно. Динамика намагниченности композитной тонкой пленки также изменяется за счёт состава и введения массивов дырок. Массивы композитных нанотверстий Ag-Co с содержанием Co 30 % демонстрируют высокие плазмоно-магнитооптические

характеристики по сравнению с массивом композитных нанодоверстий Ti-Co, и отжиг композитов Ag-Co в вакууме может ещё больше улучшить это свойство. В статье [20] все экспериментальные результаты подтверждены расчётами по методу конечно-разностей во временной области. Такой магнитоплазмонный композиционный материал может действовать как класс материалов для магнитоплазмонных устройств или метаматериалов.

В статье [21] рассмотрено распространение светового луча в тонком слое (плёнке) в рамках геометрической оптики. Предполагается, что луч захватывается внутрь слоя за счёт отражающих стенок или полного внутреннего отражения (в случае диэлектрического слоя). Установлено, что для очень тонкой плёнки (масштаб длины определяется кривизной поверхности в данной точке) уравнения, описывающие траекторию светового луча, сводятся к уравнению геодезической на предельной искривленной поверхности. Также были найдены поправки к уравнению траектории, обусловленные конечной толщиной плёнки. Численные расчёты, выполненные для пары примерных искривлённых слоёв (конус, сфера, тор и катеноид), подтверждают, что для тонких слоёв многократно отражающийся луч света распространяется по кривой, близкой к геодезической, но с увеличением толщины слоя эти траектории смещаются друг от друга. Поскольку уравнения траекторий представляют собой сложные нелинейные дифференциальные уравнения, их решения демонстрируют некоторые хаотические черты. Небольшие изменения в начальных условиях приводят к совершенно разным траекториям. Эти хаотические свойства становятся менее значительными, чем тоньше рассматриваемый слой.

Тонкие плёнки нанокристаллов соли свинца предлагают привлекательные возможности в качестве активных сред для оптоэлектроники ближнего инфракрасного диапазона, но страдают от ограниченного компромисса между оптическими и электрическими свойствами. В то время как нанокристаллы, разделенные лигандами нанометровой длины, являются хорошими излучателями света, нанокристаллы, покрытые более короткими молекулами, обеспечивают высокую подвижность носителей, но ухудшают фото- и электролюминесценцию и расширяют узкий спектр излучения. В статье [22] показано, что этого сильного гашения и спектрального расширения можно избежать с помощью нетрадиционного использования металлических антенн. Полученная в результате гибридизация нанокристаллической антенны не только обеспечивает сильное усиление люминесценции, но также позволяет радикально изменить спектр излучения даже на длинах волн, при которых сборка нанокристаллов не излучает свет. Эти результаты не могут быть объяснены стандартной теорией люминесценции одного излучателя с помощью оптических антенн. В статье [22] предложена альтернативная модель, основанная на статистическом описании излучения света ансамблем излучателей, и обсуждаются важные последствия полученных выводов для нанооптики и оптоэлектроники с обработкой растворов.

Новые режимы распространения света возникают из-за возможности настраивать диэлектрическую проницаемость до чрезвычайно низких значений. В статье [23] демонстрируется подход, основанный на низких значениях линейной диэлектрической проницаемости, достигнутых в режиме ϵ , близком к нулю, для увеличения нелинейного показателя преломления, что позволяет значительно изменять свойства материала под действием света. Эксперименты, проведённые на тонких плёнках ZnO, легированных алюминием, показывают шестикратное увеличение нелинейного показателя преломления Керра на длине волны, близкой к нулю, в области 1300 нм. Это, в свою очередь, приводит к сверхбыстрым изменениям показателя преломления под действием света порядка единицы, что представляет собой новую парадигму нелинейной оптики.

В статье [24] показано, что в геометрии вращения Керра устройства магнитооптиче-

ской памяти обычно имеют низкую добротность и длительное время записи. В статье [24] показано, что скирмионы, образующиеся на границе раздела тонкопленочного мультиферроика и топологического изолятора, могут вызывать магнитооптические эффекты Керра с высокой добротностью. На участках фазовой диаграммы может возникать огромный дифференциальный магнитооптический эффект Керра. Резонансные особенности в спектрах магнитооптического эффекта Керра, возникающие из-за наведённой ширины запрещённой зоны Γ_1 при низких энергиях, толщины плёнки мультиферроика и поведения, подобного Друде при высоких энергиях, разрешены и объяснены. Зависимость сигнатур магнитооптического эффекта Керра от уровня Ферми различна для различных магнитных текстур. Это имеет широкие последствия для характеристики магнитной текстуры, электрооптических модуляторов и изоляторов, а также для магнитно-оптической памяти высокой плотности.

В статье [25] обсуждаются аналогии и различия между неустойчивостью ядра в икосаэдрических наносплавах и неустойчивостью Странски-Крастанова, возникающей при выращивании тонких плёнок. Все эти вопросы имеют решающее значение для разработки стратегии достижения эффективного покрытия сердечников.

В статье [26] описано систематическое исследование ансамблей наночастиц никеля, изготовленных Ni^+ -ионной имплантацией в тонком приповерхностном слое аморфного SiO_2 представлена матрица с помощью просвечивающей электронной микроскопии, магнитных измерений на постоянном токе и магнитооптического метода. Характеристика наночастиц Ni , полученная при помощи просвечивающей электронной микроскопии, свидетельствует об образовании изолированных сферических наночастиц никеля диаметром от 2 до 16 нм. Кристаллическая структура и период решётки наночастиц соответствуют гранецентрированному кубическому Ni . Показано, что наночастицы большего размера имеют структуру ядро-оболочка, что необычно для используемых условий имплантации. Оболочка этих наночастиц состоит из Ni , а ядро предположительно имеет состав, совпадающий с матрицей, то есть SiO_2 . Наночастицы ядро-оболочка в исследуемом образце сосуществуют с обычными чистыми наночастицами Ni , что сильно влияет на магнитные и особенно магнитооптические свойства образцов. Для всех трёх доз наночастицы находятся в суперпарамагнитном состоянии при комнатной температуре, переходя в «замороженное» состояние при более низких температурах.

В статье [27] исследуется явление рассеяния электрически возбуждённых поверхностных плазмон-поляритонов (поверхностный плазмон-поляритон) на отдельных наноструктурах. Туннельные электроны из сканирующего туннельного микроскопа используются для возбуждения исходящей круговой поверхностной плазмон-поляритонной волны на тонкой (50 нм) золотой плёнке, на которую нанесены изолированные наночастицы золота. Взаимодействие возбуждённых поверхностных плазмон-поляритонов с наночастицами приводит как к плоскостному (поверхностные плазмон-поляритоны к поверхностным плазмон-поляритонам), так и к внеплоскостному (поверхностный плазмон-поляритон к фотонам) рассеянию. В статье [27] используется микроскопия рассеяния поверхностного плазмон-поляритона для контроля интерференции между падающими и рассеянными в плоскости поверхностными плазмон-поляритонными волнами в плоскости изображения. Путём изменения положения иглы сканирующего туннельного микроскопа расстояние от точечного источника поверхностного плазмон-поляритона до рассеивателей может варьироваться по желанию, что является ключевым преимуществом перед другими существующими методами. Кроме того, рассеянное вне плоскости излучение мешает прямому излучению света из иглы сканирующего туннельного микроскопа в задней фокальной плоскости (плоскость Фурье). Это подтверждает взаимную когерентность излучения света и поверхностного плазмон-поляритона в результате неупругого туннелирования электрона в переходе сканирующего туннельного

микроскопа. В статье [27] используется этот эффект, чтобы продемонстрировать, что поверхностный плазмон-поляритон для рассеяния фотонов на наночастицах имеет высокую направленность.

С интересом к методам импульсного лазерного осаждения и дистанционной спектроскопии в статье [28] исследуется потенциал лазерных импульсов, адаптированных во времени в сверхбыстрых временных масштабах, для управления расширением и степенью возбуждения различных продуктов абляции, включая атомарные частицы и наночастицы. Используя преимущества автоматизированных методов формирования импульса, адаптивная процедура, основанная на спектроскопической обратной связи, применяется для регулирования освещённости и усиления оптического излучения однозарядных ионов алюминия по отношению к нейтральному сигналу. Это приводит к оптимизированным импульсам, обычно состоящим из серии фемтосекундных пиков, распределённых по более длинной пикосекундной последовательности. Характеристики абляции, вызванные оптимизированным импульсом, сравниваются с характеристиками, определяемыми пикосекундными импульсами, генерируемыми наложенной дисперсией второго порядка, или последовательностями двойных импульсов с регулируемым пикосекундным разделением. Это позволяет анализировать влияние быстро меняющихся и медленно меняющихся характеристик оболочки на нагрев материала и результирующую степень возбуждения плазмы. Используя различные оптимальные формы импульсов, в том числе разработанные асимметричные формы, в статье [28] анализируется создание поверхностного предварительного возбуждения, которое обеспечивает условия усиленной радиационной связи. Сравнение тонких плёнок, полученных с помощью несформированных фемтосекундных лазерных импульсов и оптимизированных, растянутых или двойных последовательностей импульсов, свидетельствует о том, что на эффективность генерации наночастиц сильно влияет временное формирование лазерного излучения. Предложен термодинамический сценарий, включающий сверхкритический нагрев, для объяснения повышенных скоростей ионизации и более низкой плотности частиц для оптимальных импульсов. Численное одномерное гидродинамическое моделирование для возбуждённого вещества поддерживает интерпретацию экспериментальных результатов с точки зрения относительной эффективности различных путей релаксации для возбуждённого вещества выше или ниже пределов термодинамической стабильности. Результаты расчётов подчеркивают роль градиентов температуры и плотности вдоль абляционного плазменного факела, которые приводят к различным пространственным положениям возбуждённых частиц. Кроме того, размеры наночастиц рассчитываются на основе выброса слоя жидкости с последующим разложением по неустойчивости Рэлея и Тейлора, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

В статье [29] рассматриваются наночастицы ZnO, внедрённые в тонкие плёнки MgO, были получены методом простого совместного испарения с последующим термическим отжигом в кислородной среде при температуре от 300°С до 1100°С.

Результаты разработки других дистанционных курсов по оптике покрытий и систем задач в составе курсов представлены в работах [30–34].

Проведённый анализ статей и другой научной литературы по оптическим свойствам наноструктурных и тонких плёнок в составе нанопокровов с наночастицами показал актуальность исследования нанопокровов на основе тонких плёнок с металлическими наночастицами и необходимость размещения оригинальных материалов в составе дистанционного курса по оптике нанопокровов.

Результаты разработки модульной структуры и элементов дистанционного курса «Оптика нанопокровтий»

Опишем результаты процесса разработки модульной структуры и элементов дистанционного курса «Оптика нанопокровтий» как элемента информационной системы, предназначенной для поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокровтий» в процессе практико-ориентированной подготовки педагога в бакалавриате педагогического университета в условиях смешанного обучения.

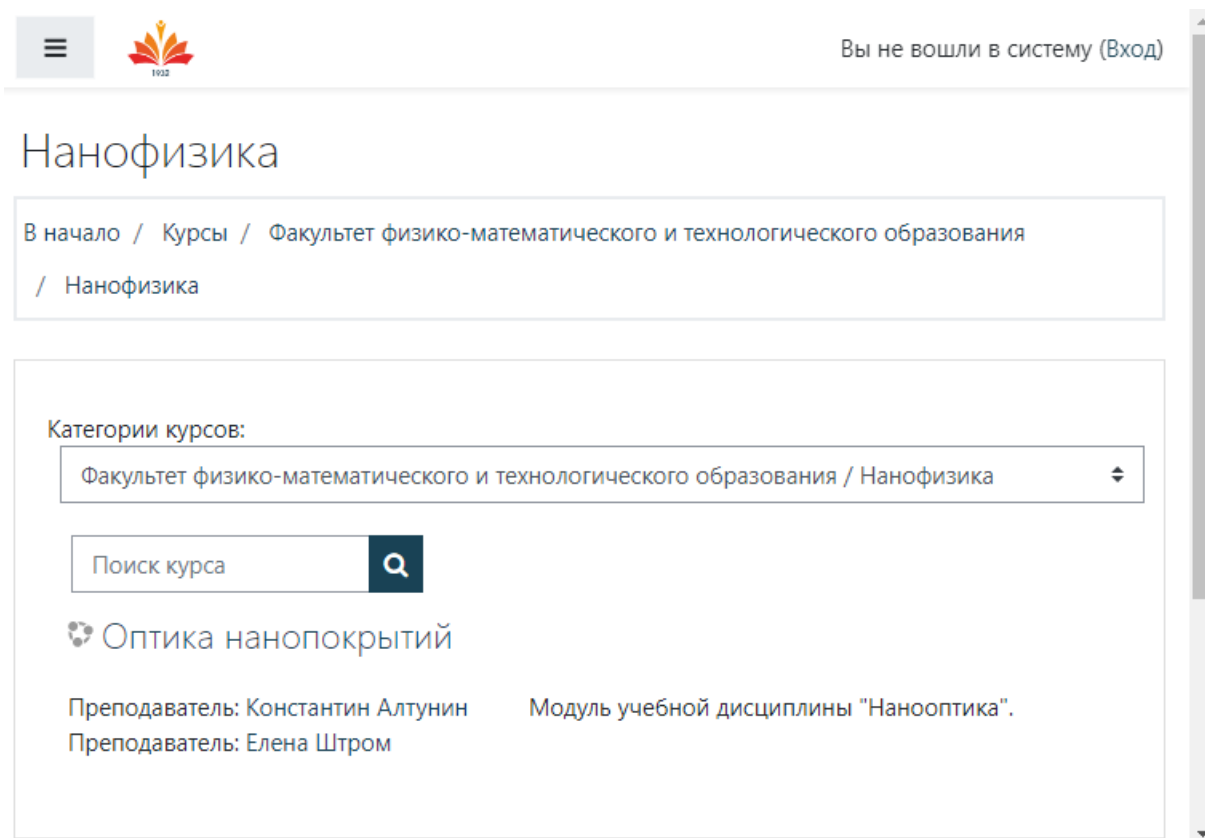


Рис. 1. Входная страница дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 1 изображена входная страница дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета. На входной странице дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий» содержатся сведения о названии дистанционного курса, преподавателях курса, вводном описании курса.

На рис. 2 изображена страница, содержащая первую часть модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета. Первой темой в первой части модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий» является тема по классической оптике металл-диэлектрических нанопокровтий. Второй темой в первой части модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий» является тема по классической оптике металл-нанокompозитных покровтий. Третьей темой в первой части модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий» является тема по нелинейной оптике металл-диэлектрических нанопокровтий.

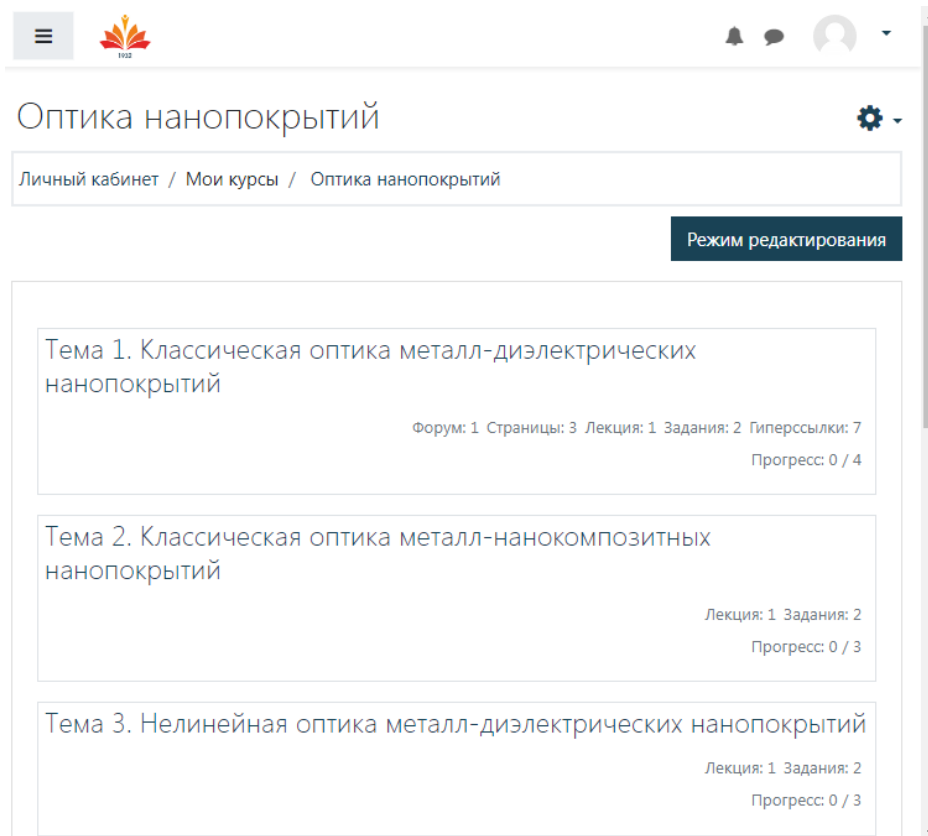


Рис. 2. Страница, содержащая первую часть модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

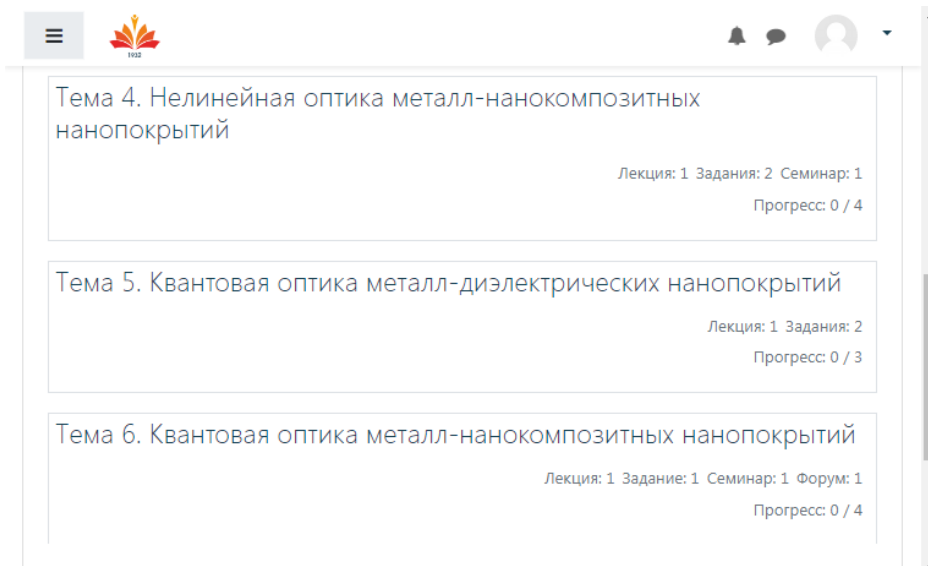


Рис. 3. Страница, содержащая вторую часть модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 3 изображена страница, содержащая вторую часть модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Четвёртой темой во второй части модулей дистанционного курса по учебной дис-

циплине «Оптика нанопокровтий» является тема нелинейной оптике наноконпозитных покровтий из слоёв металла и слоёв наноконпозитов. Пятой темой во второй части модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий» является тема по квантовой оптике наноконпозитных покровтий из металла и диэлектрика. Шестой темой во второй части модулей дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий» является тема по квантовой оптике нанопокровтий, составленных из металла и наноконпозита.

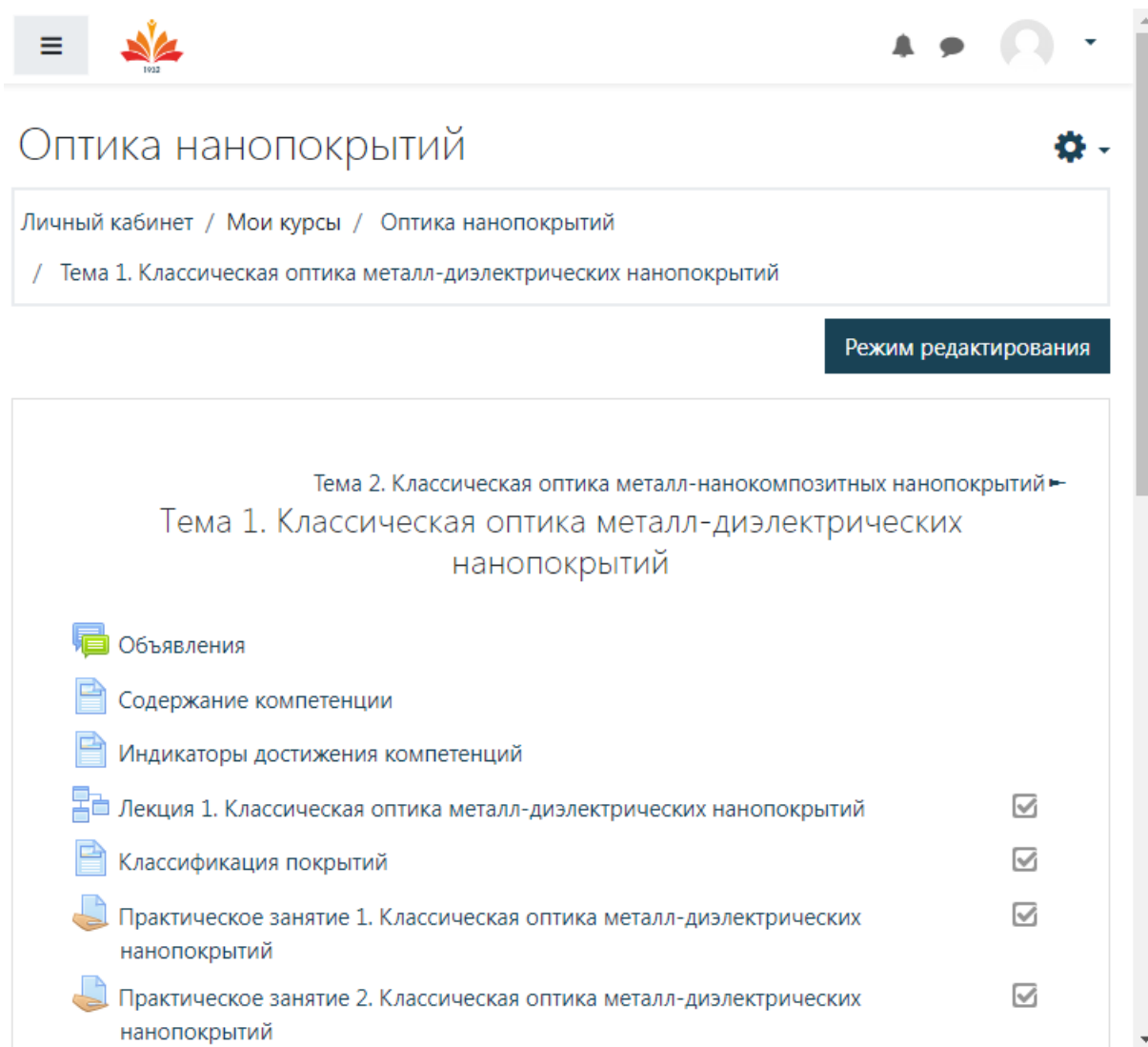


Рис. 4. Страница, содержащая элементы первой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 4 изображена страница, содержащая элементы первой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 5 изображена страница, содержащая элементы второй темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 6 изображена страница, содержащая элементы третьей темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

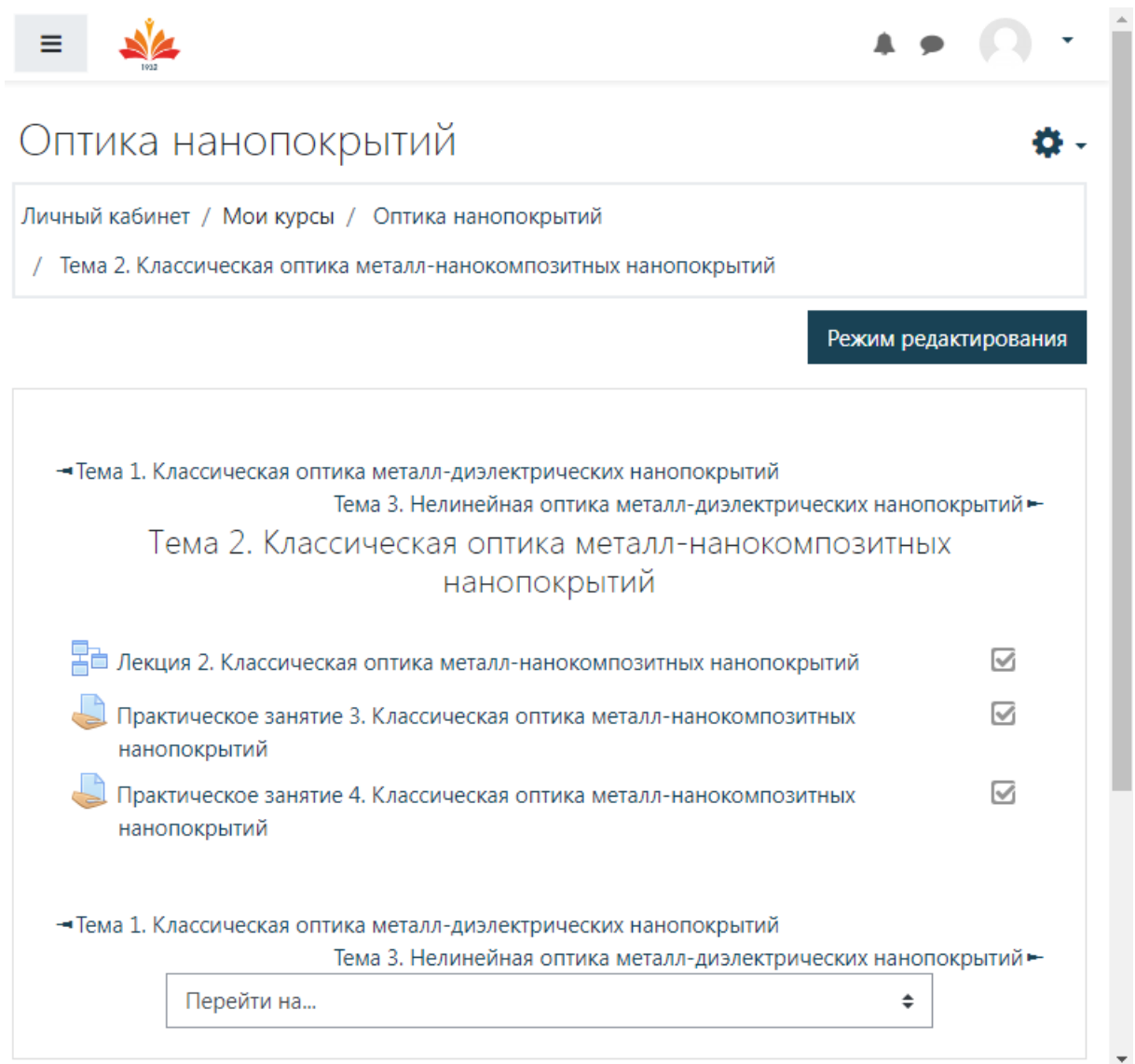


Рис. 5. Страница, содержащая элементы второй темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 7 изображена страница, содержащая элементы четвёртой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 8 изображена страница, содержащая элементы пятой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

На рис. 9 изображена страница, содержащая элементы шестой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE.

Описаны результаты разработки модульной структуры и элементов дистанционного курса «Оптика нанопокровтий» для информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокровтий» в педагогическом университете.

Результаты разработки модульной структуры и элементов курса по оптике нанопокровтий подтверждают возможность построения дистанционного курса по оптике нано-

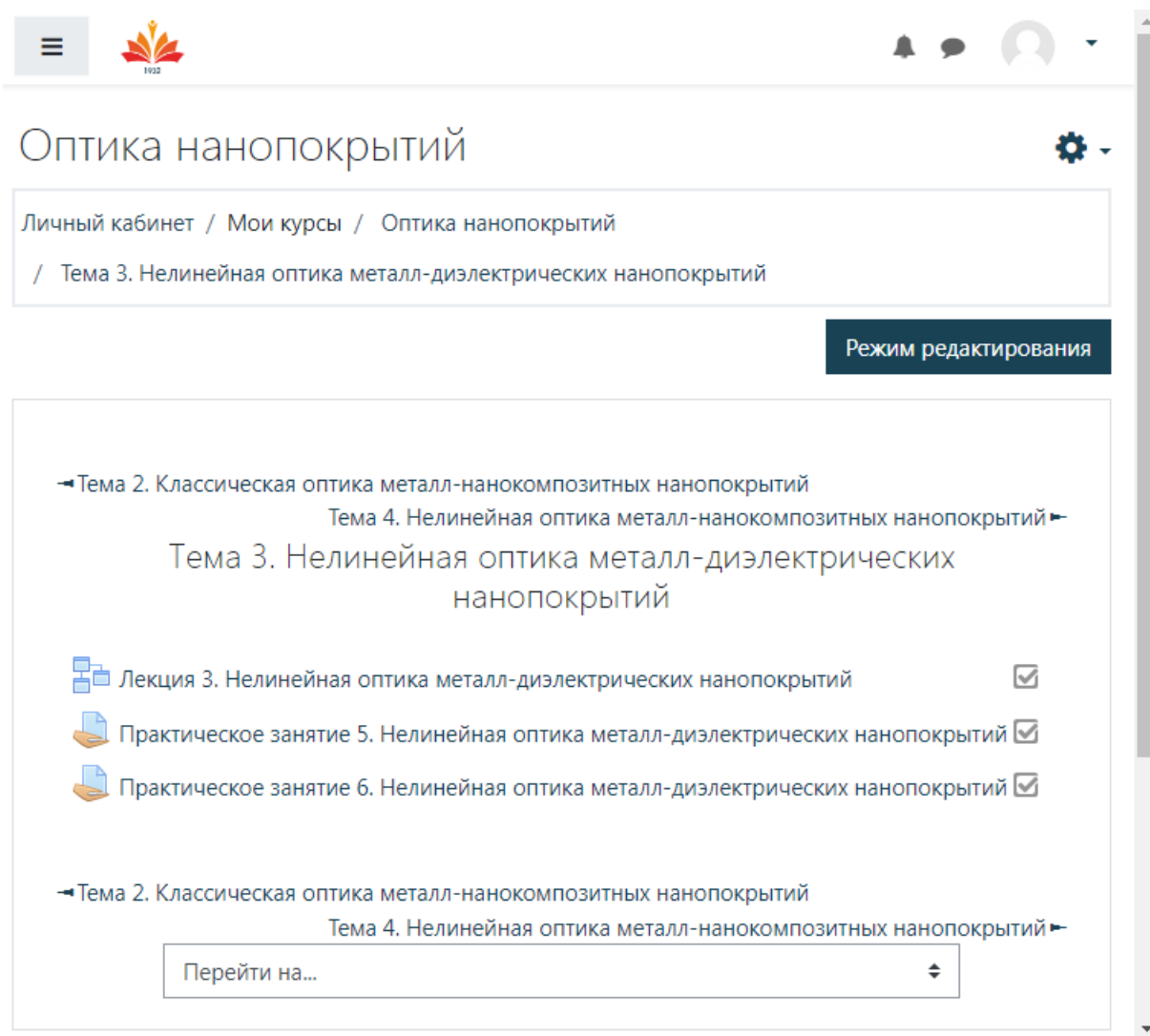


Рис. 6. Страница, содержащая элементы третьей темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

покровтий для информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокровтий» в системе управления обучением MOODLE.

Результаты экспертной оценки дистанционного курса по оптике нанопокровтий

Экспертная оценка дистанционного курса по оптике нанопокровтий проводилась десятью экспертами по восьми критериям: структура, интерактивность, навигация, дизайн, интерфейс, диагностика, организация самостоятельной работы, соблюдение авторских прав. По каждому из восьми критериев выставлялась отметка по десятибалльной шкале.

Эксперт 1 за структуру курса выставил 8 баллов, за интерактивность курса выставил 7 баллов, за навигацию курса выставил 7 баллов, за дизайн курса выставил 7 баллов, за интерфейс курса выставил 7 баллов, за диагностику курса выставил 6 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 9 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 8 баллов.

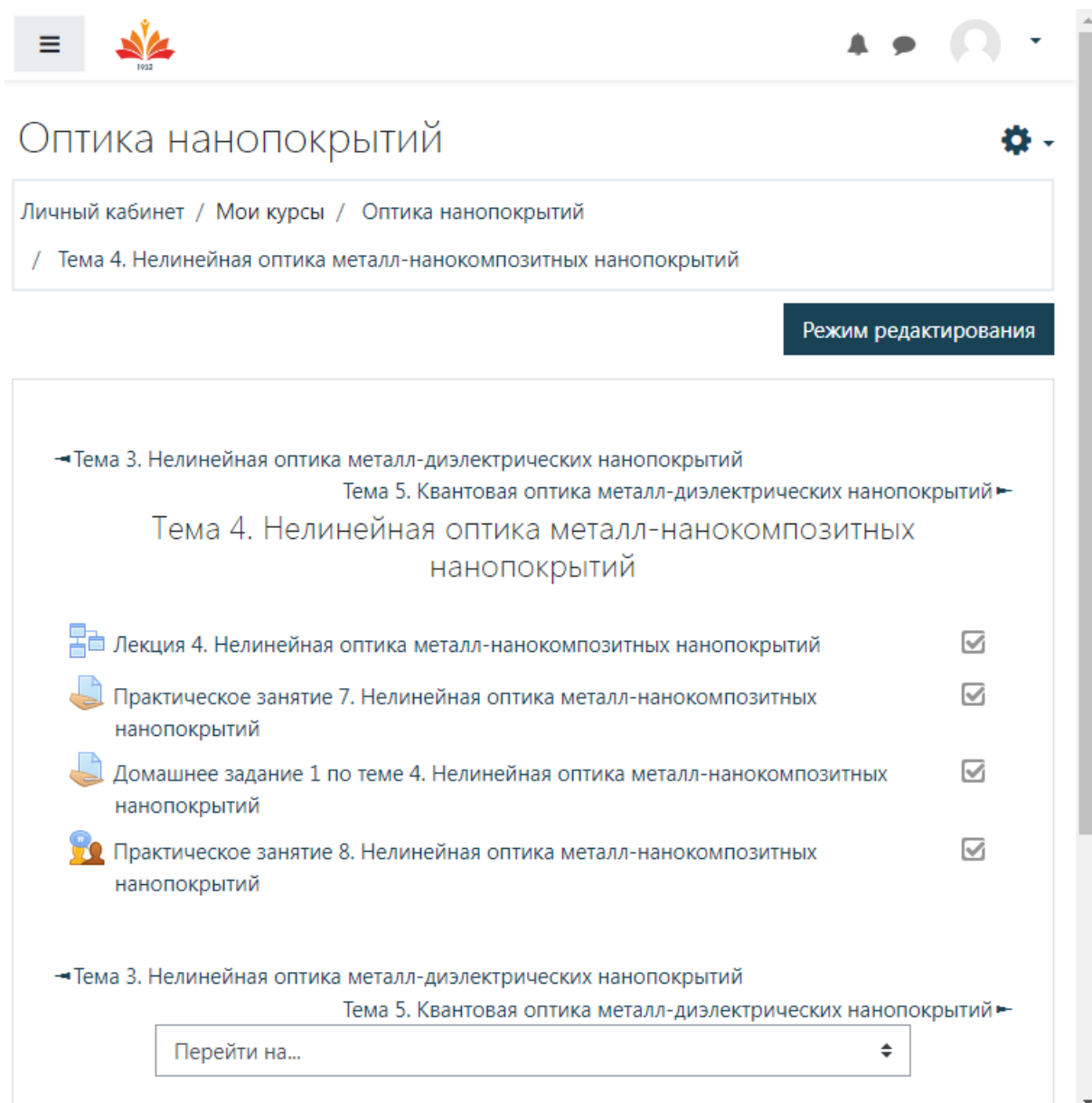


Рис. 7. Страница, содержащая элементы четвертой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Эксперт 2 за структуру курса выставил 10 баллов, за интерактивность курса выставил 7 баллов, за навигацию курса выставил 8 баллов, за дизайн курса выставил 6 баллов, за интерфейс курса выставил 8 баллов, за диагностику курса выставил 6 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 6 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 10 баллов.

Эксперт 3 за структуру курса выставил 10 баллов, за интерактивность курса выставил 8 баллов, за навигацию курса выставил 9 баллов, за дизайн курса выставил 6 баллов, за интерфейс курса выставил 7 баллов, за диагностику курса выставил 6 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 6 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 10 баллов.

Эксперт 4 за структуру курса выставил 10 баллов, за интерактивность курса выставил 10 баллов, за навигацию курса выставил 10 баллов, за дизайн курса выставил 10 баллов, за интерфейс курса выставил 9 баллов, за диагностику курса выставил 6 бал-

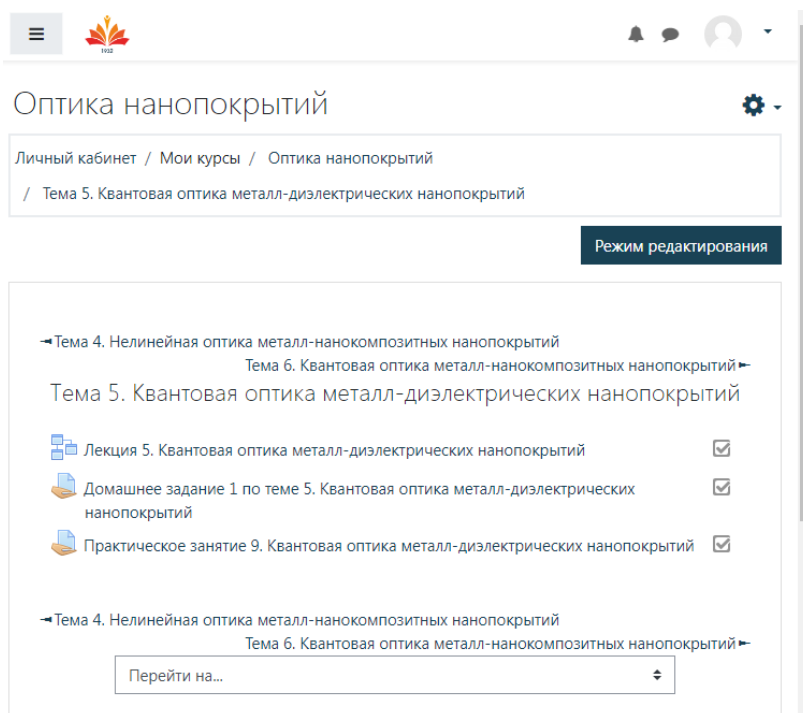


Рис. 8. Страница, содержащая элементы пятой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

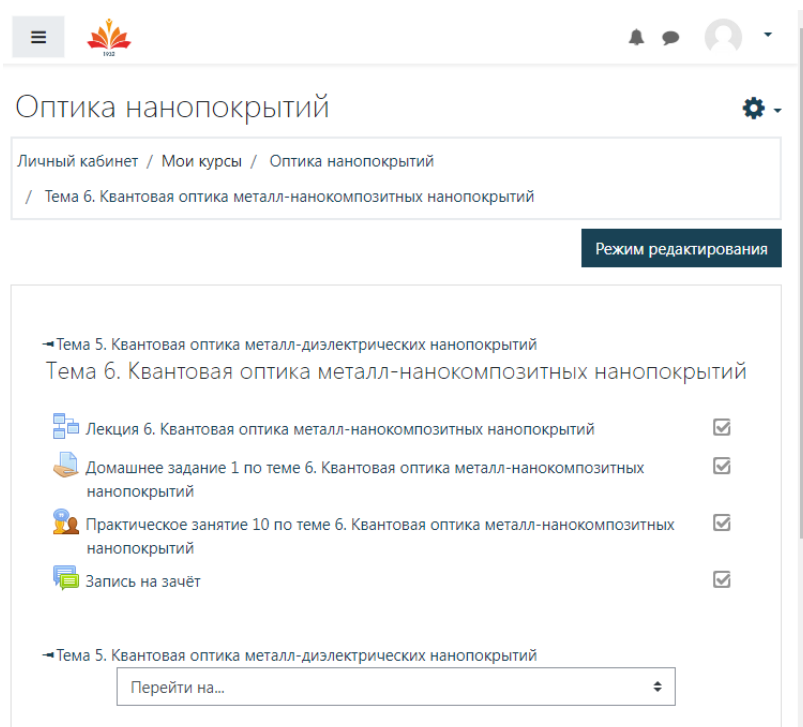


Рис. 9. Страница, содержащая элементы шестой темы дистанционного курса по учебной дисциплине «Оптика нанопокровтий», созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

лов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 10 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 10 баллов.

Эксперт 5 за структуру курса выставил 9 баллов, за интерактивность курса вы-

ставил 8 баллов, за навигацию курса выставил 9 баллов, за дизайн курса выставил 8 баллов, за интерфейс курса выставил 9 баллов, за диагностику курса выставил 8 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 6 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 9 баллов.

Эксперт 6 за структуру курса выставил 8 баллов, за интерактивность курса выставил 8 баллов, за навигацию курса выставил 7 баллов, за дизайн курса выставил 8 баллов, за интерфейс курса выставил 9 баллов, за диагностику курса выставил 8 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 7 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 8 баллов.

Эксперт 7 за структуру курса выставил 10 баллов, за интерактивность курса выставил 9 баллов, за навигацию курса выставил 7 баллов, за дизайн курса выставил 7 баллов, за интерфейс курса выставил 8 баллов, за диагностику курса выставил 7 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 6 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 10 баллов.

Эксперт 8 за структуру курса выставил 9 баллов, за интерактивность курса выставил 6 баллов, за навигацию курса выставил 8 баллов, за дизайн курса выставил 6 баллов, за интерфейс курса выставил 8 баллов, за диагностику курса выставил 7 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 6 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 9 баллов.

Эксперт 9 за структуру курса выставил 8 баллов, за интерактивность курса выставил 8 баллов, за навигацию курса выставил 8 баллов, за дизайн курса выставил 7 баллов, за интерфейс курса выставил 8 баллов, за диагностику курса выставил 7 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 6 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 9 баллов.

Эксперт 10 за структуру курса выставил 9 баллов, за интерактивность курса выставил 9 баллов, за навигацию курса выставил 7 баллов, за дизайн курса выставил 8 баллов, за интерфейс курса выставил 8 баллов, за диагностику курса выставил 8 баллов, за организацию самостоятельной работы курса выставил 7 баллов, за соблюдение авторских прав в курсе выставил 8 баллов.

Вычислим средние значения по каждому критерию оценивания, используя полученные экспертные отметки по каждому критерию оценивания дистанционного курса по оптике нанопокрывтий. Среднее значение отметок экспертов за структуру дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 9.1. Среднее значение отметок экспертов за интерактивность дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 8.0. Среднее значение отметок экспертов за навигацию дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 8.0. Среднее значение отметок экспертов за дизайн дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 7.3. Среднее значение отметок экспертов за интерфейс дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 8.1. Среднее значение отметок экспертов за диагностику дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 6.9. Среднее значение отметок экспертов за организацию самостоятельной работы дистанционного курса по оптике нанопокрывтий составило 6.9. Среднее значение отметок экспертов за соблюдение авторских прав в дистанционном курсе по оптике нанопокрывтий составило 9.1. Сумма средних значений по восьми критериям составила 63.4. Если перевести рейтинговую отметку по курсу в проценты, то получим значение, равное 79.25 %, что соответствует оптимальному уровню дистанционного курса по оптике нанопокрывтий.

Результаты разработки и апробации элементов курса по оптике нанопокрывтий подтверждают возможность оптимизации построения дистанционного курса по оптике нанопокрывтий для информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокрывтий» в системе управления обучени-

ем MOODLE.

Гипотеза исследования данной части работы, состоящая в том, что если использовать дистанционный курс «Оптика нанопокрывтий», созданный в системе управления обучением MOODLE, то можно оптимизировать процесс информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокрывтий», подтверждена полностью.

Дистанционный курс по оптике нанопокрывтий, созданный при помощи инструментария MOODLE, позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по оптике нанопокрывтий с использованием элементов программирования для численного решения физических задач по оптике нанопокрывтий в составе модульной учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрывтий».

Результаты проектирования учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрывтий»

Базой исследования является ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова».

Учебная дисциплина «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрывтий» изучается в 10 семестре на 5 курсе бакалавриата с направлением подготовки по педагогическому образованию с профилем по физике и математике в 2023-2024 учебном году. В проектировании структуры учебной дисциплины по оптике тонкослойных и наноструктурных покрывтий запланировано шесть тем, каждая из которых содержит лекции, лабораторные занятия по подгруппам студентов, самостоятельную работу студентов бакалавриата.

Первой темой в учебной дисциплине по оптике тонкослойных и наноструктурных покрывтий является тема, связанная с изучением квантовой теории оптических процессов в нанокompозитных материалах, содержащих систему включений в виде наночастиц и нанокластеров. Первая тема, связанная с изучением квантовой теории оптических процессов в нанокompозитных материалах, содержит лекции в объёме 2 часа, лабораторные занятия в объёме 4 часа, самостоятельную работу в объёме 8 часов. В результате изучения первой темы студент должен знать квантовую теорию оптических процессов в нанокompозитных материалах, содержащих систему включений в виде наночастиц и нанокластеров, уметь решать задачи квантовой физики на описание оптических процессов в нанокompозитных материалах, содержащих систему включений в виде наночастиц и нанокластеров, владеть способами решения задач квантовой физики на описание оптических процессов в нанокompозитных материалах.

Второй темой в учебной дисциплине по оптике тонкослойных и наноструктурных покрывтий является тема, связанная с изучением метода интегральных уравнений в оптике наноструктур, наноструктурных плёнок и покрывтий. Вторая тема, связанная с изучением метода интегральных уравнений в оптике наноструктур, наноструктурных плёнок и покрывтий, содержит лекции в объёме 2 часа, лабораторные занятия в объёме 2 часа, самостоятельную работу в объёме 6 часов. В результате изучения второй темы студент должен знать теорию описания оптических процессов на основе метода интегральных уравнений в оптике наноструктур, наноструктурных плёнок и покрывтий, уметь решать задачи с применением метода интегральных уравнений в оптике наноструктур, наноструктурных плёнок и покрывтий, содержащих систему включений в виде наночастиц и нанокластеров, владеть способами решения задач с использованием метода интегральных уравнений в оптике наноструктур, наноструктурных плёнок и покрывтий.

Третьей темой в учебной дисциплине по оптике тонкослойных и наноструктурных покрывтий является тема, связанная с изучением эффекта ближнего поля в нанострук-

турах, наноструктурных плёнках и квантово-размерных системах. Третья тема, связанная с изучением эффекта ближнего поля в наноструктурах, наноструктурных плёнках и квантово-размерных системах, содержит лекции в объёме 2 часа, лабораторные занятия в объёме 2 часа, самостоятельную работу в объёме 6 часов. В результате изучения третьей темы студент должен знать теорию эффекта ближнего поля в наноструктурах, наноструктурных плёнках и квантово-размерных системах, уметь решать задачи на расчёт эффективных параметров сред с учётом эффекта ближнего поля в наноструктурах, наноструктурных плёнках и квантово-размерных системах, владеть способами решения задач на расчёт эффективных параметров сред с учётом эффекта ближнего поля в наноструктурах, наноструктурных плёнках и квантово-размерных системах.

Четвёртой темой в учебной дисциплине по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий является тема, связанная с изучением физических свойств нанотрубок, фуллеренов и нанобъектов в поле оптического излучения. Четвёртая тема, связанная с изучением физических свойств нанотрубок, фуллеренов и нанобъектов в поле оптического излучения, содержит лекции в объёме 2 часа, лабораторные занятия в объёме 4 часа, самостоятельную работу в объёме 2 часов. В результате изучения четвёртой темы студент должен знать теорию оптических процессов в нанотрубках, фуллеренах и нанобъектах, находящихся в поле оптического излучения, уметь решать задачи на расчёт физических характеристик нанотрубок, фуллеренов и нанобъектов в поле оптического излучения, владеть способами решения задач на расчёт физических характеристик нанотрубок, фуллеренов и нанобъектов в поле оптического излучения.

Пятой темой в учебной дисциплине по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий является тема, связанная с изучением оптических свойств наноотверстий в металлических плёнках. Пятая тема, связанная с изучением оптических свойств наноотверстий в металлических плёнках, содержит лекции в объёме 2 часа, лабораторные занятия в объёме 4 часа, самостоятельную работу в объёме 6 часов. В результате изучения пятой темы студент должен знать теорию оптических процессов в металлических плёнках с наноотверстиями, уметь решать задачи на расчёт физических характеристик металлических плёнок с наноотверстиями, владеть способами решения задач на расчёт физических характеристик металлических плёнок с наноотверстиями.

Шестой темой в учебной дисциплине по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий является тема, связанная с изучением основных оптических свойств монослоёв, графена и графана. Шестая тема, связанная с изучением оптических свойств монослоёв, графена и графана, содержит лекции в объёме 2 часа, лабораторные занятия в объёме 4 часа, самостоятельную работу в объёме 8 часов. В результате изучения шестой темы студент должен знать теорию оптических процессов в монослоях, графене и графане, уметь решать задачи на расчёт физических характеристик оптических процессов в монослоях, графене и графане, владеть способами решения задач на расчёт физических характеристик оптических процессов в монослоях, графене и графане.

Изучение свойств оптических нанопокровтий входит в первую тему, связанную с изучением квантовой теории оптических процессов в нанокompозитных материалах с наночастицами и нанокластерами. Изучение свойств теоретического метода интегральных уравнений, используемого для описания оптических свойств нанопокровтий, входит во вторую тему, связанную с изучением метода интегральных уравнений в оптике наноструктур и нанопокровтий.

Результаты педагогического эксперимента по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий»

В период с 22 февраля 2023 года по 2 мая 2023 года осуществлялось преподавание учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» на пятом

курсе бакалавриата в подгруппе ФМ-18-01. Преподавание дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» осуществлялось полностью в очной форме в 2023-2024 учебном году. Учебную дисциплину «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в качестве дисциплины по выбору выбрали 6 студентов группы ФМ-18, входящие в подгруппу ФМ-18-01. В результате изучения учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» все студенты подгруппы ФМ-18-01 получили отметку «зачтено». В процессе оценивания студентов использовалась рейтинговая система университета. Максимальное значение рейтинговой отметки по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составляло 200 баллов в 2023-2024 учебном году. Выберем перевод градации отметки в пятибалльную шкалу в виде: от 181 балла до 200 баллов соответствует отметке «отлично», от 141 балла до 180 баллов соответствует отметке «хорошо», от 101 балла до 140 баллов соответствует отметке «удовлетворительно», от 0 баллов до 100 баллов соответствует отметке «неудовлетворительно». В процессе рейтингового оценивания студент 1 из подгруппы ФМ-18-01 получил 200 баллов, что соответствует отметке «отлично». В процессе рейтингового оценивания студент 2 из подгруппы ФМ-18-01 получил 200 баллов, что соответствует отметке «отлично». В процессе рейтингового оценивания студент 3 из подгруппы ФМ-18-01 получил 200 баллов, что соответствует отметке «отлично». В процессе рейтингового оценивания студент 4 из подгруппы ФМ-18-01 получил 187 баллов, что соответствует отметке «отлично». В процессе рейтингового оценивания студент 5 из подгруппы ФМ-18-01 получил 101 балл, что соответствует отметке «удовлетворительно». В процессе рейтингового оценивания студент 6 из подгруппы ФМ-18-01 получил 103 балла, что соответствует отметке «удовлетворительно». В процессе перевода в пятибалльную шкалу результатов рейтингового оценивания изучения учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» на пятом курсе бакалавриата в подгруппе ФМ-18-01 в 2023-2024 учебном году были получены следующие отметки: 4 отметки «отлично», 0 отметок «хорошо», 2 отметки «удовлетворительно». Средний балл рейтинговых отметок по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2023-2024 учебном году, который был вычислен от всех баллов студентов подгруппы ФМ-18-01, равнялся 165 баллам. Абсолютная успеваемость студентов подгруппы ФМ-18-01 по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составила 100 %, что соответствует оптимальному уровню абсолютной успеваемости студентов. Качественная успеваемость студентов подгруппы ФМ-18-01 по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составила 66.7 %, что соответствует оптимальному уровню качественной успеваемости студентов. Степень обученности студентов подгруппы ФМ-18-01 по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составила 78.7 %, что соответствует оптимальному уровню обученности студентов. Высший уровень требований по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2023-2024 учебном году составляет 78.7 %. Средний уровень требований по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2023-2024 учебном году составляет 48.0 %. Низкий уровень требований по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2023-2024 учебном году составляет 25.3 %. Среднее значение отметок по пятибалльной шкале составляет 2.92. Среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического значения составляет 4.33. Экспериментальное значение хи-квадрат по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2023-2024 учебном году составило 10.7, что меньше критического значения, равного 15.08627 для 5 степеней свободы и уровня значимости 0.01. Поэтому подтвердилась основная гипотеза.

В период с 8 ноября 2022 года по 27 декабря 2022 года осуществлялось преподавание

учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» на пятом курсе бакалавриата в подгруппе ФМ-19-01. Преподавание дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» осуществлялось полностью в очной форме в 2022-2023 учебном году. Учебную дисциплину «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в качестве дисциплины по выбору выбрали 7 студентов группы ФМ-19, входящие в подгруппу ФМ-19-01. В результате изучения учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» шесть студентов подгруппы ФМ-19-01 получили отметку «зачтено», а один студент не явился на зачёт. В процессе оценивания студентов использовалась рейтинговая система университета. Максимальное значение рейтинговой отметки по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составляло 200 баллов в 2022-2023 учебном году. В процессе рейтингового оценивания студент 1 из подгруппы ФМ-19-01 получил 164 балла, что соответствует отметке «хорошо». В процессе рейтингового оценивания студент 2 из подгруппы ФМ-19-01 получил 133 балла, что соответствует отметке «удовлетворительно». В процессе рейтингового оценивания студент 3 из подгруппы ФМ-19-01 получил 198 баллов, что соответствует отметке «отлично». В процессе рейтингового оценивания студент 4 из подгруппы ФМ-19-01 получил 134 балла, что соответствует отметке «удовлетворительно». В процессе рейтингового оценивания студент 5 из подгруппы ФМ-19-01 получил 0 баллов и не явился на зачёт. В процессе рейтингового оценивания студент 6 из подгруппы ФМ-19-01 получил 159 баллов, что соответствует отметке «хорошо». В процессе рейтингового оценивания студент 7 из подгруппы ФМ-19-01 получил 196 баллов, что соответствует отметке «отлично». В процессе перевода в пятибалльную шкалу результатов рейтингового оценивания изучения учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» на пятом курсе бакалавриата в подгруппе ФМ-19-01 в 2022-2023 учебном году были получены следующие отметки: 2 отметки «отлично», 2 отметки «хорошо», 2 отметки «удовлетворительно», 1 студент не явился на зачёт. Средний балл рейтинговых отметок по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2022-2023 учебном году, который был вычислен от всех баллов студентов подгруппы ФМ-19-01, равнялся 141 баллу. Абсолютная успеваемость студентов подгруппы ФМ-19-01 по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составила 85.7 %, что соответствует допустимому уровню абсолютной успеваемости студентов. Качественная успеваемость студентов подгруппы ФМ-19-01 по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составила 57.1 %, что соответствует оптимальному уровню качественной успеваемости студентов. Степень обученности студентов подгруппы ФМ-19-01 по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» составила 58.1 %, что соответствует допустимому уровню обученности студентов. Высший уровень требований по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2022-2023 учебном году составляет 57.1 %. Средний уровень требований по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2022-2023 учебном году составляет 33.1 %. Низкий уровень требований по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2022-2023 учебном году составляет 16.0 %. Среднее значение отметок по пятибалльной шкале составляет 3.43. Среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического значения составляет 4.33. Экспериментальное значение хи-квадрат по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в 2022-2023 учебном году составило 2.286, что меньше критического значения, равного 15.08627 для 5 степеней свободы и уровня значимости 0.01. Поэтому подтвердилась основная гипотеза.

Заключение

Разработанный дистанционный курс по оптике нанопокровтий может служить частью системы информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных покровтий» в педагогических университетах для студентов специальностей физико-математического профиля подготовки.

Задача исследования, состоящая в разработке модульной структуры и материалов дистанционного курса «Оптика нанопокровтий» в системе управления обучением MOODLE, решена полностью.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать дистанционный курс «Оптика нанопокровтий», созданный в системе управления обучением MOODLE, то можно оптимизировать процесс информационной поддержки преподавания учебной дисциплины «Оптика тонкослойных и наноструктурных нанопокровтий», подтверждена полностью.

Список использованных источников

1. Room-temperature weak collinear ferrimagnet with symmetry-driven large intrinsic magneto-optic signatures / F. Johnson [et al.] // *Physical Review B*. — 2023. — jan. — Vol. 107, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.107.014404>.
2. Chang Yi Hua, Troian Sandra M. Thermocapillary patterning of highly uniform microarrays by resonant wavelength excitation // *Physical Review Applied*. — 2022. — dec. — Vol. 18, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.18.064090>.
3. Khanjani Hadi, Miri MirFaez. Electric field tuning of the optical absorbance of topological insulator thin films // *Physical Review B*. — 2022. — dec. — Vol. 106, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.106.235139>.
4. Light-induced dynamic frequency shifting of microwave photons in a superconducting electro-optic converter / Yuntao Xu [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — dec. — Vol. 18, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.18.064045>.
5. Electric field tuning of ultrafast demagnetization in a magnetoelectric heterostructure / A. R. Will-Cole [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — nov. — Vol. 106, no. 17. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.106.174401>.
6. Diekmann Oliver, Lentrodt Dominik, Evers Jörg. Inverse design in nuclear quantum optics: From artificial x-ray multilevel schemes to spectral observables // *Physical Review A*. — 2022. — nov. — Vol. 106, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.106.053701>.
7. Graphical direct writing of macroscale domain structures with nanoscale spatial resolution in nonpolar-cut lithium niobate on insulators / Yuezhao Qian [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — may. — Vol. 17, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.054049>.
8. Wave optics of differential absorption spectroscopy in thick-junction organic solar cells: optical artifacts and correction strategies / Bowen Sun [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — may. — Vol. 17, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.054016>.

9. Peng Lingzhi, Hong Lihong, Li Zhiyuan. Theoretical solution of second-harmonic generation in periodically poled lithium niobate and chirped periodically poled lithium niobate thin film via quasi-phase-matching // *Physical Review A*. — 2021. — nov. — Vol. 104, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.104.053503>.
10. Cheng Meijuan, Zhu Zi-Zhong, Guo Guang-Yu. Strong bulk photovoltaic effect and second-harmonic generation in two-dimensional selenium and tellurium // *Physical Review B*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.245415>.
11. Two-dimensional ReS_2 : solution to the unresolved queries on its structure and interlayer coupling leading to potential optical applications / Janardhan Rao Gadde [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2021. — may. — Vol. 5, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.5.054006>.
12. Cavity electro-optic circuit for microwave-to-optical conversion in the quantum ground state / Wei Fu [et al.] // *Physical Review A*. — 2021. — may. — Vol. 103, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.103.053504>.
13. Hänisch Christian, Lenk Simone, Reineke Sebastian. Refined Setup for Angle-Resolved Photoluminescence Spectroscopy of Thin Films // *Physical Review Applied*. — 2020. — dec. — Vol. 14, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.14.064036>.
14. Interrelation between polycrystalline structure and time-dependent magnetic anisotropies in exchange-biased bilayers / Maximilian Merkel [et al.] // *Physical Review B*. — 2020. — oct. — Vol. 102, no. 14. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.102.144421>.
15. Conformal landscape of a two-dimensional gradient refractive-index profile for geometrical optics / Lin Xu [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2020. — may. — Vol. 13, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.13.054007>.
16. Ultraviolet to far-infrared dielectric function of n -doped cadmium oxide thin films / J. Ryan Nolen [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2020. — feb. — Vol. 4, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.4.025202>.
17. Thermal conductivity of oxide tunnel barriers in magnetic tunnel junctions measured by ultrafast thermoreflectance and magneto-optic Kerr effect thermometry / Hyejin Jang [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2020. — feb. — Vol. 13, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.13.024007>.
18. Second harmonic conversions of surface-plasmon-polariton-enhanced optical fields in nonlinear optics polymer/Ag/glass structures / Atsushi Sugita [et al.] // *Physical Review B*. — 2020. — jan. — Vol. 101, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.101.045303>.
19. Quadratic magneto-optic Kerr effect spectroscopy of Fe epitaxial films on MgO(001) substrates / Robin Silber [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — aug. — Vol. 100, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.100.064403>.
20. Magnetoplasmonic properties of Ag-Co composite nanohole arrays / Hoang Mai Luong [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — jun. — Vol. 99, no. 22. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.99.224413>.

21. Radożycki Tomasz. Geometrical optics and geodesics in thin layers // *Physical Review A*. — 2018. — dec. — Vol. 98, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.98.063802>.
22. Revisiting the role of metallic antennas to control light emission by lead salt nanocrystal assemblies / Hongyue Wang [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2018. — sep. — Vol. 10, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.10.034042>.
23. Enhanced nonlinear refractive index in ϵ -near-zero materials / L. Caspani [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2016. — jun. — Vol. 116, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.116.233901>.
24. Bhowmick Tonmoy K., De Amrit, Lake Roger K. High figure of merit magneto-optics from interfacial skyrmions on topological insulators // *Physical Review B*. — 2018. — jul. — Vol. 98, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.98.024424>.
25. Bochicchio Davide, Ferrando Riccardo. Morphological instability of core-shell metallic nanoparticles // *Physical Review B*. — 2013. — apr. — Vol. 87, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.87.165435>.
26. Study of morphology, magnetic properties, and visible magnetic circular dichroism of Ni nanoparticles synthesized in SiO₂ by ion implantation / I. S. Edelman [et al.] // *Physical Review B*. — 2013. — mar. — Vol. 87, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.87.115435>.
27. Scattering of electrically excited surface plasmon polaritons by gold nanoparticles studied by optical interferometry with a scanning tunneling microscope / Tao Wang [et al.] // *Physical Review B*. — 2015. — jul. — Vol. 92, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.92.045438>.
28. Optical emission and nanoparticle generation in Al plasmas using ultrashort laser pulses temporally optimized by real-time spectroscopic feedback / M. Guillermin [et al.] // *Physical Review B*. — 2010. — jul. — Vol. 82, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.82.035430>.
29. Formation and luminescence of ZnO nanoparticles embedded in MgO films / J. G. Ma [et al.] // *Physical Review B*. — 2005. — mar. — Vol. 71, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.71.125430>.
30. Алтунин К. К., Штром Е. С. Исследование оптических свойств наноматериалов в условиях сильного оптического возбуждения // В книге: Актуальные проблемы физической и функциональной электроники. Материалы 22-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара. — Ульяновск : УлГТУ, 2019. — С. 159–160.
31. Алтунин К. К., Купряева Е. А., Штром Е. С. Разработка дистанционного курса по оптике в системе управления обучением MOODLE // *НАУКА ONLINE*. — 2020. — № 3 (12). — С. 107–133. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2020/12/naukaonline12-2.pdf>.
32. Алтунин К. К., Штром Е. С. Разработка электронного образовательного ресурса “Квантовая механика наносистем с Octave” // *НАУКА ONLINE*. — 2019. — № 4 (9). — С. 42–73. — URL: http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2019/12/AltuninShtrom4_2019.pdf.


33. Штром Е. С., Сейдуллаева Г. Т. Результаты педагогического эксперимента по апробации методики преподавания темы по механическим колебаниям и волнам в курсе физики старшей школы // НАУКА ONLINE. — 2022. — № 1 (18). — С. 1–41. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2022/08/01182022-001-2.pdf>.
34. Штром Е. С. Исследование системы задач по теме по законам сохранения в десятых классах с углубленным изучением физики // НАУКА ONLINE. — 2022. — № 3 (20). — С. 40–74. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2023/01/03202022-004.pdf>.

Сведения об авторах:

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

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

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

E-mail: shtrom98@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-9648-1501

Web of Science ResearcherID  AAZ-9002-2020

Original article
PACS 01.40.Di
OCIS 310.6845
MSC 00A79

Development of a distance course on the optics of nanocoatings

K. K. Altunin , E. S. Shtrom 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted May 15, 2023

Resubmitted May 17, 2023

Published June 5, 2023

Abstract. The results of the development of a distance course on the optics of nanocoatings in the learning management system MOODLE are discussed. The results of the development of the modular structure and materials of the distance course «Optics of Nanocoating», created for information support of the teaching of the academic discipline «Optics of thin-layer and nanostructured nanocoatings» in the process of practice-oriented teacher training in the bachelor's degree of a pedagogical university in conditions of blended learning at the university, are described. The description of the selected elements of the distance course on the optics of nanocoatings in the learning management system MOODLE is presented. The use of a distance course on the optics of nanocoatings opens up the possibility of implementing blended learning on the optics of thin-layer and nanostructured coatings at the university.

Keywords: physics, optics, nanocoating, nanocoating optics, learning management system, distance learning

References

1. Room-temperature weak collinear ferrimagnet with symmetry-driven large intrinsic magneto-optic signatures / F. Johnson [et al.] // *Physical Review B*. — 2023. — jan. — Vol. 107, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.107.014404>.
2. Chang Yi Hua, Troian Sandra M. Thermocapillary patterning of highly uniform microarrays by resonant wavelength excitation // *Physical Review Applied*. — 2022. — dec. — Vol. 18, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.18.064090>.
3. Khanjani Hadi, Miri MirFaez. Electric field tuning of the optical absorbance of topological insulator thin films // *Physical Review B*. — 2022. — dec. — Vol. 106, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.106.235139>.
4. Light-induced dynamic frequency shifting of microwave photons in a superconducting electro-optic converter / Yuntao Xu [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — dec. — Vol. 18, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.18.064045>.
5. Electric field tuning of ultrafast demagnetization in a magnetoelectric heterostructure / A. R. Will-Cole [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — nov. — Vol. 106, no. 17. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.106.174401>.

6. Diekmann Oliver, Lentrodt Dominik, Evers Jörg. Inverse design in nuclear quantum optics: From artificial x-ray multilevel schemes to spectral observables // *Physical Review A*. — 2022. — nov. — Vol. 106, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.106.053701>.
7. Graphical direct writing of macroscale domain structures with nanoscale spatial resolution in nonpolar-cut lithium niobate on insulators / Yuezhao Qian [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — may. — Vol. 17, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.054049>.
8. Wave optics of differential absorption spectroscopy in thick-junction organic solar cells: optical artifacts and correction strategies / Bowen Sun [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — may. — Vol. 17, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.054016>.
9. Peng Lingzhi, Hong Lihong, Li Zhiyuan. Theoretical solution of second-harmonic generation in periodically poled lithium niobate and chirped periodically poled lithium niobate thin film via quasi-phase-matching // *Physical Review A*. — 2021. — nov. — Vol. 104, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.104.053503>.
10. Cheng Meijuan, Zhu Zi-Zhong, Guo Guang-Yu. Strong bulk photovoltaic effect and second-harmonic generation in two-dimensional selenium and tellurium // *Physical Review B*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 24. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.245415>.
11. Two-dimensional ReS_2 : solution to the unresolved queries on its structure and inter-layer coupling leading to potential optical applications / Janardhan Rao Gadde [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2021. — may. — Vol. 5, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.5.054006>.
12. Cavity electro-optic circuit for microwave-to-optical conversion in the quantum ground state / Wei Fu [et al.] // *Physical Review A*. — 2021. — may. — Vol. 103, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.103.053504>.
13. Hänisch Christian, Lenk Simone, Reineke Sebastian. Refined Setup for Angle-Resolved Photoluminescence Spectroscopy of Thin Films // *Physical Review Applied*. — 2020. — dec. — Vol. 14, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.14.064036>.
14. Interrelation between polycrystalline structure and time-dependent magnetic anisotropies in exchange-biased bilayers / Maximilian Merkel [et al.] // *Physical Review B*. — 2020. — oct. — Vol. 102, no. 14. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.102.144421>.
15. Conformal landscape of a two-dimensional gradient refractive-index profile for geometrical optics / Lin Xu [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2020. — may. — Vol. 13, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.13.054007>.
16. Ultraviolet to far-infrared dielectric function of n -doped cadmium oxide thin films / J. Ryan Nolen [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2020. — feb. — Vol. 4, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.4.025202>.

17. Thermal conductivity of oxide tunnel barriers in magnetic tunnel junctions measured by ultrafast thermorefectance and magneto-optic Kerr effect thermometry / Hyejin Jang [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2020. — feb. — Vol. 13, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.13.024007>.
18. Second harmonic conversions of surface-plasmon-polariton-enhanced optical fields in nonlinear optics polymer/Ag/glass structures / Atsushi Sugita [et al.] // *Physical Review B*. — 2020. — jan. — Vol. 101, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.101.045303>.
19. Quadratic magneto-optic Kerr effect spectroscopy of Fe epitaxial films on MgO(001) substrates / Robin Silber [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — aug. — Vol. 100, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.100.064403>.
20. Magnetoplasmonic properties of Ag-Co composite nanohole arrays / Hoang Mai Luong [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — jun. — Vol. 99, no. 22. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.99.224413>.
21. Radożycki Tomasz. Geometrical optics and geodesics in thin layers // *Physical Review A*. — 2018. — dec. — Vol. 98, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.98.063802>.
22. Revisiting the role of metallic antennas to control light emission by lead salt nanocrystal assemblies / Hongyue Wang [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2018. — sep. — Vol. 10, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.10.034042>.
23. Enhanced nonlinear refractive index in ϵ -near-zero materials / L. Caspani [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2016. — jun. — Vol. 116, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.116.233901>.
24. Bhowmick Tonmoy K., De Amrit, Lake Roger K. High figure of merit magneto-optics from interfacial skyrmions on topological insulators // *Physical Review B*. — 2018. — jul. — Vol. 98, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.98.024424>.
25. Bochicchio Davide, Ferrando Riccardo. Morphological instability of core-shell metallic nanoparticles // *Physical Review B*. — 2013. — apr. — Vol. 87, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.87.165435>.
26. Study of morphology, magnetic properties, and visible magnetic circular dichroism of Ni nanoparticles synthesized in SiO₂ by ion implantation / I. S. Edelman [et al.] // *Physical Review B*. — 2013. — mar. — Vol. 87, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.87.115435>.
27. Scattering of electrically excited surface plasmon polaritons by gold nanoparticles studied by optical interferometry with a scanning tunneling microscope / Tao Wang [et al.] // *Physical Review B*. — 2015. — jul. — Vol. 92, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.92.045438>.
28. Optical emission and nanoparticle generation in Al plasmas using ultrashort laser pulses temporally optimized by real-time spectroscopic feedback / M. Guillermin [et al.] // *Physical Review B*. — 2010. — jul. — Vol. 82, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.82.035430>.

29. Formation and luminescence of ZnO nanoparticles embedded in MgO films / J. G. Ma [et al.] // *Physical Review B*. — 2005. — mar. — Vol. 71, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.71.125430>.
30. Altunin K. K., Shtrom E. S. Investigation of the optical properties of nanomaterials under conditions of strong optical excitation // In the book: *Actual problems of physical and functional electronics. Materials of the 22nd All-Russian Youth Scientific School-Seminar*. — Ulyanovsk : UISTU, 2019. — P. 159–160.
31. Altunin K. K., Kupreyanova E. A., Shtrom E. S. Development of a distance course in optics in the learning management system MOODLE // *Science Online*. — 2020. — no. 3 (12). — P. 107–133. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2020/12/naukaonline12-2.pdf>.
32. Altunin K. K., Shtrom E. S. Development of an electronic educational resource “Quantum mechanics of nanosystems with Octave” // *Science Online*. — 2019. — no. 4(9). — P. 42–73. — URL: http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2019/12/AltuninShtrom4_2019.pdf.
33. Shtrom E. S., Seydullaeva G. T. The results of a pedagogical experiment on testing the methodology of teaching the topic on mechanical vibrations and waves in the high school physics course // *Science Online*. — 2022. — no. 1 (18). — P. 1–41. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2022/08/01182022-001-2.pdf>.
34. Shtrom E. S. Research of the system of tasks on the topic of conservation laws in the tenth grade with an in-depth study of physics // *Science Online*. — 2022. — no. 3 (20). — P. 40–74. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2023/01/03202022-004.pdf>.

Information about authors:

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

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

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

E-mail: shtrom98@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-9648-1501

Web of Science ResearcherID  AAZ-9002-2020