

## Секция 2

---

### Физико-математические науки

---

Научная статья  
УДК 53.01  
ББК 22.31  
ГРНТИ 29.01.45  
ВАК 1.3.6.  
PACS 01.40.Di  
OCIS 310.6628  
MSC 00A79

#### Разработка дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE

К. К. Алтунин , Е. В. Александрова  <sup>1</sup>

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

Поступила в редакцию 7 июля 2023 года  
После переработки 17 июля 2023 года  
Опубликована 30 сентября 2023 года

---

**Аннотация.** Представлены результаты разработки дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE. Рассматриваются особенности процесса создания дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE. Рассматриваются особенности разработки теоретических элементов и элементов контроля по нанооптике в системе управления обучением MOODLE. Обсуждаются результаты разработки модульной структуры и избранных элементов дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE. Приводится краткое описание основных характеристик процесса создания дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE. Обозначаются основные особенности преподавания курса по нанооптике с применением системы управления обучением MOODLE. Применение формата дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE на проблемно-ориентированной основе обеспечивает прозрачность результатов, включая тестирование в формате активного, операционального, рефлексивного обучения физическим основам оптики наноструктур.

---

<sup>1</sup>E-mail: e10a1@yandex.ru

**Ключевые слова:** нанооптика, дистанционный курс, элемент курса, проектирование

## Введение

В настоящее время всё шире повсеместно используются различные технологии изучения физики в школах и высших учебных заведениях, по этой причине всё актуальнее становится задача разработки дистанционного курса по нанооптике.

Целью работы является исследование технологии создания дистанционного курса по нанооптике.

В работе поставлены следующие задачи исследования:

1. написать обзор научных работ по оптике наноструктур,
2. разработать модульную структуру дистанционного курса нанооптики,
3. разработать материалы курса нанооптики,
4. разработать систему элементов для контроля знания в курсе нанооптики.

Объектом исследования является курс нанооптики.

Предметом исследования является процесс разработки курса нанооптики с использованием модульной технологии с созданием дистанционного курса по нанооптике.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать модульную технологию проектирования курса нанооптики, то можно эффективно управлять темпом продвижения по курсу нанооптики.

Методами исследования являются компьютерные методы создания дистанционных курсов и систем контроля знаний по нанооптике.

Материалами исследования являются теоретические материалы по нанооптике.

Новизна исследования состоит в том, что процесс разработки дистанционного курса по нанооптике заключается в последовательном использовании модульного проектирования курса нанооптики.

Теоретическая значимость заключается в создании новой методологии преподавания курса нанооптики.

Практическая значимость работы заключается в применении смешанной технологии в процессе преподавания нанооптики в университете.

## Обзор научных работ по оптике наноструктур

Магнитооптический эффект Керра широко используется в лабораторных установках для изучения тонких пленок и наноструктур, обеспечивая получение магнитных характеристик с хорошим пространственным и временным разрешением. Из-за сложной связи света с магнитным образцом обычные магнитооптические магнитометры на эффекте Керра обычно работают, выбирая небольшой диапазон значений падающего волнового вектора, фокусируя падающий световой луч в маленьком пятне и регистрируя отраженную интенсивность в этом месте. угловой диапазон с помощью фотодетекторов. При использовании этого подхода для полной векторной магнитной характеристики требуются дополнительные методики и измерения. В статье @auxrussian@auxenglish[1] численно исследуется установка магнитооптического эффекта Керра в пространстве Фурье, где эллипсометр сфокусированного луча, использующий оптику с высокой числовой апертурой, и детектор камеры используются для одновременного картирования распределения интенсивности для широкого диапазона падающих и отраженных волновых векторов. В статье [1] используется круговой поляризованный свет и не используем анализирующую оптику в сочетании с процедурой подгонки карт интенсивности света к аналитическому выражению эффекта Керра в линейном приближении. Таким образом,

в статье [1] получены три неизвестных компонента вектора намагниченности, а также оптическую и магнитооптическую константы материала с высокой точностью и коротким временем сбора данных с возможностью однократных измерений. Таким образом, магнитооптический эффект Фурье Керра предлагается как мощный метод выполнения обобщённой магнитооптической эллипсометрии для широкого круга магнитных материалов и устройств.

Резонансные структуры в современной нанофотонике неэрмитовы (с утечкой и потерями) и поддерживают квазинормальные моды. Более того, современные резонаторы часто включают двумерные материалы, чтобы использовать и резонансно улучшать их нелинейные свойства или обеспечивать возможность настройки. Такие материалы усложняют моделирование из-за их бесконечно малой толщины и сильной дисперсии. В статье [2] предлагается формализм для эффективного анализа генерации третьей гармоники в наночастицах и метаповерхностях, включающих двумерные материалы. Он основан на численном расчёте квазинормальных мод в наноструктуре, является общим и не делает никаких предварительных предположений относительно количества резонансов, участвующих в процессе преобразования, в отличие от традиционных подходов теории связанных мод в литературе. Возможности платформы демонстрируются на двух выбранных примерах: одиночный рассеиватель и периодическая метаповерхность, включающая графен из-за его высокой нелинейности третьего порядка. В обоих случаях получено отличное согласие с двухполупериодным нелинейным моделированием. В статье [2] показано, что предлагаемая схема может стать бесценным инструментом для получения физического представления о процессе генерации частоты в нанооптических структурах и предоставления рекомендаций по достижению значительного повышения эффективности генерации третьей гармоники.

Рассеяние света является одним из наиболее известных волновых явлений в оптике, лежащим в основе взаимодействия света с веществом и имеющее решающее значение для приложений нанофотоники. Пассивность, причинность и сохранение энергии подразумевают строгие ограничения на степень контроля над рассеянием от мелких частиц, что влияет на работу многих оптических устройств. В статье [3] демонстрируется, что эти ограничения можно превзойти, рассматривая возбуждения на сложных частотах, что приводит к экстремальным откликам рассеяния, когда адаптированные наночастицы достигают квазистационарного режима. Эти механизмы могут быть использованы для разработки светорассеяния наноструктур за пределами обычных ограничений для неинвазивного зондирования, визуализации и манипулирования светом в наномасштабе.

Дихалькогениды переходных металлов, относящиеся к классу ван-дер-ваальсовых материалов, являются перспективными материалами для оптоэлектроники и фотоники. В частности, их гигантская оптическая анизотропия может обеспечивать важные оптические эффекты при использовании в наноструктурах конечной толщины. В статье [4] теоретически и численно изучается поведение светорассеяния анизотропными нанополосками  $\text{MoS}_2$  и подчеркиваем его отличительные особенности, превосходящие реакцию обычных кремниевых частиц той же формы. В статье [4] установлено, что два замечательных явления, возникающих в одной и той же частице  $\text{MoS}_2$  с оптимизированной геометрией. Первый — это чисто магнитное дипольное рассеяние, связанное с возбуждением электродипольных анапольных состояний. Ранее о нём сообщалось только в гибридных системах ядро-оболочка (металл/диэлектрик), теперь оно продемонстрировано в полностью диэлектрической частице. Второе явление — свертотклонение в дальней зоне: максимальное рассеяние может иметь место в широком диапазоне направлений, включая прямое, обратное и боковое рассеяние в зависимости от взаимной ориентации нанополоски  $\text{MoS}_2$  и падающей волны. В отличие от известных эффектов

Керкера и анти-Керкера, которые проявляются в наночастицах на разных частотах, сверхотклонение может быть достигнуто путём вращения частицы с постоянной частотой падающего света. Результаты, полученные в [4], облегчают разработку функциональных оптических устройств, включающих наноструктурированные анизотропные диалкогениды переходных металлов, и могут стимулировать дальнейшие исследования в области метаоптики на основе сильно анизотропных материалов.

Плазмонная связь является одним из наиболее важных эффектов в компактных плазмонных системах и интенсивно изучается. Напротив, магнитоплазмонная связь редко упоминается даже в графеновых наноструктурах, поддерживающих сильный магнитооптический эффект. В статье [5] теоретически исследуется магнитоплазмонная связь в димерах графеновых нанодисков в присутствии либо параллельных (случай I), либо антипараллельных (случай II) магнитных полей. В статье [5] обнаружено, что гибридные моды всегда появляются для двух состояний с одинаковой хиральностью, тогда как их возбуждения зависят от падающей поляризации. Более того, в случае I две антисимметричные моды темные, а в случае II все четыре моды светлые. Для лучшего понимания представлена расширенная модель связанных диполей, в которой фундаментальные магнитоплазмоны с круговой поляризацией разлагаются на два линейных и ортогональных диполя с разностью фаз  $\pi/2$ , а затем связь описывается двумя линейными диполями вдоль два ортогональных направления отдельно. Параметры магнитооптического эффекта и силы связи независимы и могут быть легко извлечены из их отдельных моделей. Собственные значения и волновые функции, полученные из модели, могут хорошо описывать резонансную частоту и силу возбуждения каждой гибридной моды. Наконец, в статье [5] обсуждается магнитоплазмонная связь в соприкасающихся графеновых нанодисках, где плазмон с переносом заряда невосприимчив к магнитооптическому эффекту, а в случае II состояние кругового резонанса будет заменено линейным с падающим электрическим полем вдоль направления касания. В статье [5] предлагается общая основа для исследования связи мод двух круговых состояний и прокладываем путь к магнитооптическим и плазмонным приложениям.

Раскрытие основных нелинейно-оптических свойств графеноподобных наноструктур с коррелированной электронно-дырочной нелинейной динамикой в широком диапазоне частот и интенсивностей полей накачки имеет большое значение как для фундаментальной физики графена, так и для ожидаемых новых приложений двумерных гексагональных наноструктур в экстремальной нелинейной оптике. В статье [6] исследуется нелинейное взаимодействие двумерных гексагональных наноструктур с бихроматическим инфракрасным возбуждающим полем с учётом многочастичного кулоновского взаимодействия. Численное исследование в рамках уравнений Блоха в базисе Хьюстона, учитывающих электрон-электронное и электронно-дырочное взаимодействия в приближении Хартри-Фока, выявило значительные экситонные эффекты в процессе генерации высоких гармоник в двумерных гексагональных наноструктурах, таких как графен и силицид. Показано, что из-за коррелированной электронно-дырочной нелинейной динамики вокруг сингулярности Ван Хофа спектральные каустики в спектре генерации высших гармоник индуцируются вблизи экситонных резонансов в седловой точке.

В статье [7] применяется метод петлевых диаграмм для линейной и нелинейной оптики для расчёта суммарной частотной характеристики сложной системы молекулярной наноструктуры. Присутствие наноструктуры изменяет молекулярный отклик за счёт диполярного обмена энергией, а молекулярная гиперполяризуемость факторизуется функциями отклика наноструктуры возрастающих порядков. В статье [7] предлагается общий метод преобразования этих функций в произведения поляризуемости наноструктур первого порядка с учётом усиления молекулярного отклика за счёт связи с плазмонными или экситонными резонансами. В частности, в статье [7] показано, как можно

напрямую читать диаграммы для определения функций отклика и их факторизации без явного вычисления. Методология обеспечивает основу для различных приложений к другим системам, взаимодействиям и нелинейным оптическим процессам.

В статье [8] показано, что гибридно-ориентированные нематические жидкокристаллические устройства имеют как фундаментальное, так и технологическое значение для их применения в жидкокристаллических адаптивных линзах, жидкокристаллических дисплеях низкого напряжения, интеллектуальных окнах и многом другом. В статье [8] сообщается о изготовлении и характеристиках гибридно-ориентированного нематического устройства на основе наноструктуры, использующего вертикально ориентированные массивы углеродных нанотрубок в качестве гомеотропного выравнивающего агента с одной стороны и двумерный гексагональный нитрид бора в качестве планарного выравнивающего агента с другой стороны жидкокристаллической ячейки.

Достижение сильной связи между отдельной молекулой и плазмонной нанополостью в условиях окружающей среды важно для многих приложений нанофотоники. На достижение такой цели было направлено много усилий. В статье [9] разрабатывается полуаналитический метод, который может эффективно рассчитать спектр экстинкции общей связанной системы из одной молекулы и плазмонной нанорезонатора. Обнаружено, что усиление поля и эффективность усиления плазмонной нанорезонатора имеют решающее значение для получения чёткого большого расщепления Раби. Соответственно можно получить оценку силы связи. В частности, в статье [9] найдено, что плазмонный димер капли дождя с размером зазора 1.5 нм может достичь сильной связи с одной общей молекулой с переходным дипольным моментом приближённо равным 3.8 Дебая. Димер капли дождя показывает лучшую производительность, чем другие распространённые экспериментально возможные плазмонные нанорезонаторы. В статье [9] обсуждается также случай особой нелинейной связи, когда на провале расщепления Раби появляется дополнительный пик. Результаты, полученные в статье [9], открывают путь к квантовой оптике с одним излучателем в условиях окружающей среды.

В статье [10] показано, что оптические микрополости и металлические наноструктуры значительно модулируют динамику и спектроскопический отклик молекулярных систем. В статье [10] представлено исследование нелинейной оптики модели, состоящей из  $N$  ангармонических многоуровневых систем (например, осцилляторов Морзе), испытывающих коллективную сильную связь с резонансным инфракрасным микрорезонатором. В статье [10] установлено, что в экспериментально доступных условиях в молекулярных системах в микрорезонаторах нелинейные явления могут значительно усиливаться за счёт высокого качества поляритонных резонансов и повышенной плотности электромагнитной энергии микрорезонаторов по отношению к свободному пространству.

Искусственные наноструктуры позволяют точно контролировать электромагнитные поля в наноразмерном масштабе, и эта возможность недавно была распространена на взаимодействие между поляризованным светом и хиральным веществом. Теоретическое описание таких взаимодействий и его применение для проектирования оптимизированных структур для хиральной спектроскопии ставит новые задачи перед общим набором инструментов, используемых в нанооптике. В частности, хирооптические эффекты часто в решающей степени зависят от взаимной ориентации рассеивателя и падающего света, но многие эксперименты проводятся со случайно ориентированными рассеивателями, диспергированными в растворе. В статье [11] получены новые выражения для усредненной по ориентации локальной степени оптической хиральности электромагнитного поля в присутствии агрегата наночастиц. Это достигается с помощью структуры  $T$ -матрицы суперпозиции, идеально подходящей для вывода эффективных формул усреднения ориентации в задачах светорассеяния. Результаты, полученные в статье [11],

применяются к нескольким модельным примерам и иллюстрируют несколько неинтуитивных аспектов в распределении усредненной по ориентации степени хиральности вокруг наноструктур. Результаты, полученные в статье [11], будут представлять значительный интерес для изучения сборок наночастиц, предназначенных для улучшения хиральной оптической спектроскопии, и где эффективное численное вычисление усредненной степени оптической хиральности позволяет более всесторонне исследовать множество возможных наноструктур.

Использование спонтанного излучения некогерентных квантовых излучателей является одной из отличительных черт нанооптики. Тем не менее, остаётся постоянная проблема — заставить их излучать векторные лучи, которые представляют собой сложные формы света, связанные с плодотворными разработками в области флуоресцентной визуализации, оптического захвата и высокоскоростных телекоммуникаций. Векторные лучи характеризуются пространственно изменяющимися состояниями поляризации, конструкция которых требует свойств когерентности, которыми обычно обладают лазеры, но не фотоны, создаваемые спонтанным излучением. В статье [12] показан способ объединения спонтанного излучения ансамбля коллоидных квантовых точек в векторные пучки. Для этого используются голографические наноструктуры, которые придают свету, исходящему от излучателей, необходимую пространственную когерентность, поляризацию и топологические свойства. В статье [12] сосредоточили демонстрацию на векторных вихревых пучках, которые являются киральными векторными лучами, несущими ненулевой орбитальный угловой момент, и утверждается, что такой подход может быть распространён на другие формы векторного света.

Реализация интегральных квантовых схем требует точного управления носителями заряда на кристалле. Стремясь к когерентному соединению удаленных наноструктур при нулевом магнитном поле, в статье [13] изучается баллистический перенос электронов через два квантовых точечных контакта последовательно в трёхполюсной конфигурации. В статье [13] усиливается связь между квантовыми точечными контактами за счёт электростатической фокусировки с использованием полевой линзы. Для детального изучения эмиссионных и собирательных свойств квантовых точечных контактов комбинируем электростатическую фокусировку с магнитным отклонением. Сравнивая измерения, представленные в статье [13], с квантово-механическими и классическими расчётами, обсуждаются общие черты квантовой схемы и демонстрируется, как когерентная и баллистическая динамика зависят от деталей потенциалов удержания квантового точечного контакта.

Сильная связь мод и резонансы Фано, возникающие в результате исключительного взаимодействия между резонансными модами в одиночных наноструктурах, привлекли большое внимание в связи с их преимуществами в нелинейной оптике, датчиках с неизлучающей анапольной модой) были хорошо исследованы в изолированных или связанных наноструктурах с доступом к высокой добротности в связанных состояниях в континууме. Несмотря на обширные исследования обычных диэлектрических частиц, интригующие аспекты взаимодействия света и вещества в одиночных киральных наноструктурах отсутствуют. В статье [14] раскрывается, что в киральном наноцилиндре могут быть одновременно суперпозиции экстраординарные мультиполи, такие как два тороидальных диполя с противоположными моментами, а также электрические и магнитные секстиполи. Таким образом, индуцированные оптические латеральные силы и их сечения рассеяния могут быть либо значительно усилены в присутствии этих мультиполей с высокой добротностью, либо подавлены связанными состояниями в континууме. Работа [14] впервые раскрывает сложную корреляцию между мультиполярными эффектами, киральной связью и оптической боковой силой, предоставляя отличный способ для продвинутых оптических манипуляций.

Недавняя способность плазмонных наноструктур исследовать субнанометровые и даже атомные масштабы требует теорий, которые могут объяснить нелокальную динамику электронного газа. Гидродинамическая модель Друде отражает большую часть микроскопической динамики квантовомеханических эффектов, когда учитываются дополнительные граничные условия. В статье [15] пересматривается гидродинамическая модель Друде в рамках формализма Маделунга, чтобы переформулировать ее связанную систему уравнений в виде одного нелинейного уравнения Шрёдингера, чтобы получить естественное квантово-механическое описание плазмоники. В частности, в статье [15] изучается отклик двух перекрывающихся нанопроволок с помощью этого формализма. В статье [15] гарантируется, что предлагаемая система отсчёта согласуется с классической электродинамикой, когда в плазмонной системе выполняется приближение локального отклика, находя необходимую поправку.

Анизотропные кристаллы недавно привлекли значительное внимание из-за их способности поддерживать поляритоны с множеством уникальных свойств, таких как гиперболическая дисперсия, отрицательная фазовая скорость или экстремальное удержание. В частности, было продемонстрировано, что двухосный кристалл  $\alpha$ - $\text{MoO}_3$  поддерживает фононные поляритоны, свет, связанный с колебаниями решетки, с анизотропным распространением в плоскости и необычно долгим временем жизни. Однако отсутствие теоретических исследований электромагнитных мод в двухосных кристаллических пластинах препятствует полной интерпретации экспериментальных данных, а также эффективному дизайну наноструктур, поддерживающих такие сильно анизотропные поляритоны. В статье [16] получаем закон дисперсии электромагнитных мод в двухосных пластинах, окруженных полубесконечными изотропными диэлектрическими полупространствами с произвольными диэлектрическими проницаемостями. Помимо общего дисперсионного уравнения, приводятся очень простые аналитические выражения для типичных экспериментов в нанооптике: пределы короткой поляритонной длины волны и/или очень тонких пластин. Результаты исследования позволят провести углубленный анализ анизотропных поляритонов в новых двухосных Ван-дер-Ваальсовых материалах.

Оптические материалы демонстрируют значительные потери на резонансной частоте составляющих их атомов, поэтому они практически реализуются на частотах, далеких от резонансов. Электромагнитно-индуцированная прозрачность обеспечивает метод эффективного подавления оптических потерь в узком окне над резонансом, где среда демонстрирует значительную дисперсию, но за счёт нулевой восприимчивости. Классические или плазмонные аналоги эффекта прозрачности, индуцированного электромагнитным полем, вводятся и широко используются в контексте электромагнитных или оптических метаматериалов. В другом интересном явлении квантовой оптики, известном как увеличение показателя преломления, оптические потери среды могут быть нулевыми или даже отрицательными в области максимальной восприимчивости и незначительной дисперсии. Это условие интересно для приложений, где требуется сильный электромагнитный отклик среды с незначительными потерями, например, метаматериалы с нулевым или отрицательным показателем преломления. В статье [17] вводится плазмонный аналог увеличения показателя преломления, который позволяет когерентно управлять поляризуемостью и поглощением плазмонных наноплазмонных антенн. Это может открыть путь для распространения оптических волн с нулевым показателем преломления к плазмонным метаматериалам с высоким показателем преломления с компенсацией потерь. Схема также предлагает подход к полностью оптическому переключению и когерентному управлению свойствами пропускания, дифракции и преобразования поляризации плазмонных наноструктур, а также свойствами распространения поверхностных плазмонных поляритонов на метаповерхностях.

Результаты разработки теоретических материалов для избранных занятий по курсу нанооптики опубликованы в [18].

Проведённый анализ литературы показывает актуальность исследований в области оптики наноструктур и разработки дистанционных курсов по нанооптике.

## Результаты разработки модульной структуры и элементов дистанционного курса по нанооптике

В курсе нанооптики изучаются оптические свойства различных наноструктур, наносистем, нанокмозитов, построенных на основе наноструктурных материалов и метаматериалов.

Курс нанооптики посвящён изучению текущего состояния и будущего оптики наноструктур, а также преимущества и ограничения нанотехнологий для оптических приложений. В настоящее время стало возможным применение технологий дистанционного и смешанного обучения в университете.

Рассмотрим основные результаты разработки дистанционного курса по нанооптике в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

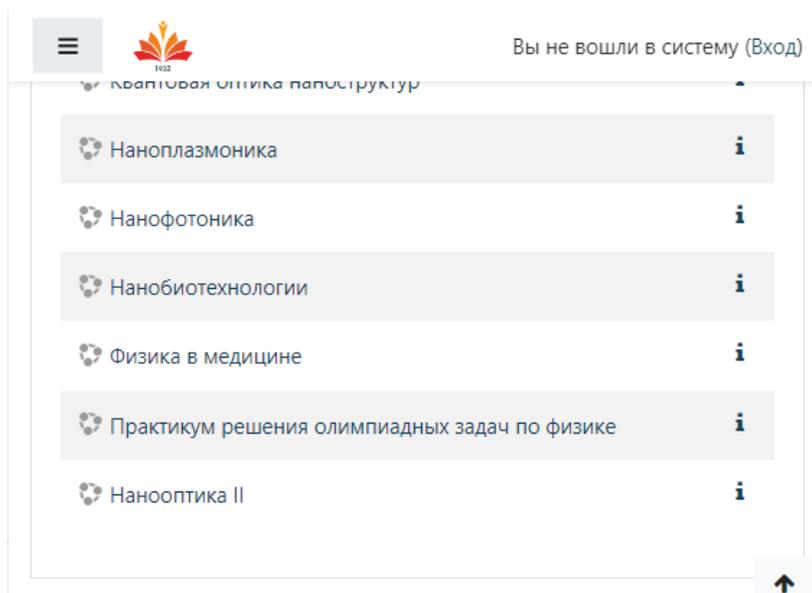


Рис. 1. Входная страница дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение входной страницы дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

Общая трудоёмкость курса по нанооптике составляет 3 зачётные единицы или 108 часов. В аудиторную часть курса нанооптики входят лекции в объёме 18 часов, лабораторные занятия в объёме 30 часов, самостоятельная работа студентов, выполнение контрольных работ, сдача зачёта в объёме 60 часов. Итоговой формой отчётности по нанооптике является устный зачёт по вопросам. Курс нанооптики читается в восьмом семестре для студентов четвёртого курса педагогического университета, обучающихся по профилю в области физики и математики.

В ходе начального этапа по разработке курса нанооптики были созданы общие сведения о курсе, включающие полное название курса по нанооптике, краткое название курса по нанооптике.

В общих настройках дистанционного курса на нанооптике можно выбрать категорию курса, показывающую принадлежность его к учебным дисциплинам на факультете физико-математического и технологического образования. В качестве дополнительной категории выбрана категория по нанофизике для категории создаваемого курса.

Общие настройки дистанционного курса в системе управления MOODLE помогают управлять видимостью курса. В процессе разработки курса по нанооптике можно выбрать состояние видимости курса в виде скрытого курса, а по окончании процесса можно изменить видимость курса, сделав его полностью видимым, то есть показать курс. В ходе общих настроек дистанционного курса по нанооптике можно указывать дату начала курса и дату окончания курса, а так оставить дату окончания курса открытой по количеству тем и занятий. Дата начала и окончания курса должны совпадать с временем начала и окончания аудиторных занятий семестра в университете на соответствующем курсе.

В описании курса можно указать общие сведения о названии курса, о том, для кого предназначен курс, о способах записи и входа в курс (например, можно зайти гостем). В описании указан логотип курса, который является элементом дизайна, привлекающий внимание учащихся, а также помогает найти курс не только по названию, но и визуально.

В настройках курса по нанооптике можно выбрать раздел по темам или по неделям. При проектировании данного курса выбран формат разделов курса по темам.

При форматировании в настройках формата курса можно управлять отображением скрытых секций. Представление курса по нанооптике можно показывать все секции на отдельных страницах или одной странице.

В управлении настройками внешнего вида курса по нанооптике можно выбрать установку языка, необходимое количество отображаемых объявлений, необходимость показа журнала успеваемости студентов, отображение показа успехов студентов. В настройках дистанционного курса по нанооптике можно регулировать отслеживание и выполнение заданий курса. В настройках дистанционного курса по нанооптике можно регулировать максимальный размер загружаемого файла при разработке курса нанооптики и выполнении заданий.

Настройки дистанционного курса по нанооптике позволяют управлять групповым режимом и потоками студентов в курсе.

На рис. 2 приведено изображение первой части тематических модулей дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE. Первая часть тематических модулей дистанционного курса по нанооптике включает в себя тему по интерференционным эффектам в нанокompозитных плёнках, тему по дифракционным эффектам в нанокompозитных плёнках, тему по рассеянию оптических волн в нанокompозитных плёнках.

Первый модуль в составе дистанционного курса по нанооптике посвящен изучению интерференционных эффектов в нанокompозитных плёнках. Интерференционные эффекты включают в себя описание явлений интерференции в нанокompозитных плёнках в поле оптической волны. В первой теме рассматриваются эффекты, возникающие при наложении двух и более когерентных оптических волн внутри нанокompозитных плёнок и плёночных структур. В первой теме содержится одна лекция и одно практическое занятие. В первой теме содержится одна лекция по интерференционным эффектам в нанокompозитных плёнках и одна страница для описания заданий интерференционных эффектов в нанокompозитных плёнках. На первой лекции изучается теория интерференции волн в нанокompозитных плёнках, а на практическом занятии теория закрепляется, отвечают на вопросы, разбирают контрольные вопросы, решают задачи.

Во второй теме содержится одна лекция по дифракционным эффектам в нанокomp-

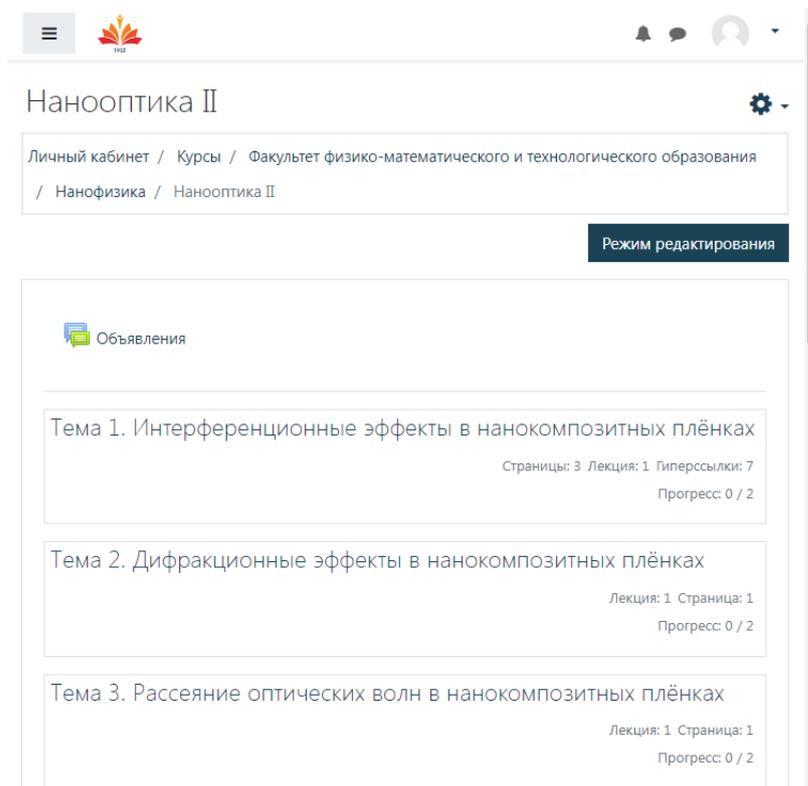


Рис. 2. Первая часть тематических модулей дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

позитных плёнках и одна страница для описания заданий дифракционных эффектов в нанокompозитных плёнках. На второй лекции изучается теория дифракции волн в нанокompозитных плёнках, а на практическом занятии теория закрепляется, отвечают на вопросы, разбирают контрольные вопросы, решают задачи на описание дифракционных явлений в нанокompозитных плёнках.

В третьей теме содержится одна лекция по рассеянию оптических волн в нанокompозитных плёнках и одна страница для описания заданий рассеивания в нанокompозитных плёнках. На третьей лекции изучается теория рассеяния оптических волн в нанокompозитных плёнках, а на практическом занятии теория закрепляется, отвечают на вопросы, разбирают контрольные вопросы, решают задачи на рассеяние оптических волн в нанокompозитных плёнках.

На рис. 3 приведено изображение второй части тематических модулей дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE. Вторая часть тематических модулей дистанционного курса по нанооптике включает в себя тему по полевым уравнениям, используемым для описания полей в квазиульмерных системах, тему по полевым уравнениям, используемым для описания полей в одномерных наносистемах, тему по полевым уравнениям, используемым для описания полей в двумерных наносистемах.

В четвёртой теме содержится лекция 4 по теории на основе полевых уравнений для квазиульмерных систем. Прохождение каждой станицы лекции требует ответ на вопрос, требующий осмысления прочитанного текста. В теме 4 запланирован семинар 1 по полевым уравнения для квазиульмерных системе. К семинару 1 в теме 4 выдается список вопросов по уравнения электродинамики и полевым уравнениям, которые можно использовать при описании полей в квазиульмерных систем. Вопросы к семинару предлагаются учащимся заблаговременно до даты проведения семинара. Для выполне-



Рис. 3. Вторая часть тематических модулей дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

ния заданий 1 в теме 4 предлагается заранее изучить материал в лекции 4 и подготовить вывод полевых уравнений, используемых для описания ролей в квазиульмерных системах. В качестве элемента задания 1 необходимо записать и вывести граничные условия для одной из квазиульмерных систем выданных по варианту.

В теме 4 запланирован семинар 1 по полевым уравнениям квазиульмерных систем, к которому заранее выдаются вопросы и задачи по вычислению полевых характеристик квазиульмерных систем, выданных в соответствии с вариантом задания.

В пятой теме содержится лекция 5 по теории на основе полевых уравнений для одномерных наносистем и одна страница для описания заданий по полевым уравнениям в одномерных наносистемах. Прохождение каждой станицы лекции требует ответ на вопрос, требующий осмысления прочитанного текста.

В шестой теме содержится лекция 6 по теории на основе полевых уравнений для двухмерных наносистем и одна страница для описания задания по теме 5 полевым уравнениям в двумерных наносистемах.

На рис. 4 приведено изображение части страницы с избранными элементами первой темы курса в виде гиперссылок на книги из электронных библиотечных систем в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 5 приведено изображение страницы с избранными элементами второй темы курса в виде лекции и страницы с заданиями к практическому занятию в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение страницы с избранными элементами третьей темы курса в виде лекции и страницы с заданиями к практическому занятию в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 7 приведено изображение страницы с избранными элементами четвертой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания, семинара по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 8 приведено изображение страницы с избранными элементами пятой темы

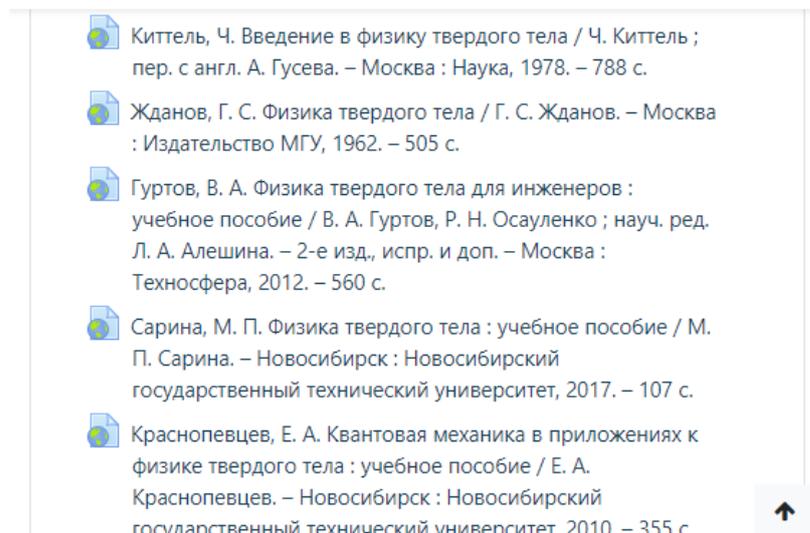


Рис. 4. Избранные элементы первой темы курса в виде гиперссылок на книги из электронных библиотечных систем в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

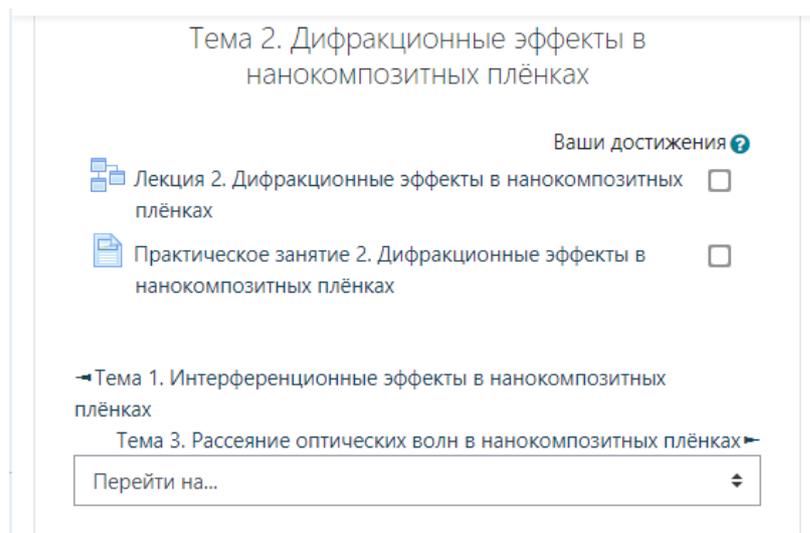


Рис. 5. Избранные элементы второй темы курса в виде лекции и страницы с заданиями к практическому занятию в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 9 приведено изображение страницы с избранными элементами шестой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 10 приведено изображение страницы с избранными элементами седьмой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 11 приведено изображение страницы с избранными элементами восьмой

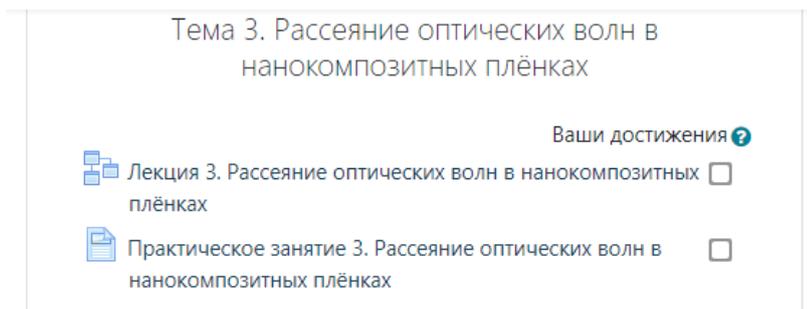


Рис. 6. Избранные элементы третьей темы курса в виде лекции и страницы с заданиями к практическому занятию в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.



Рис. 7. Избранные элементы четвёртой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания, семинара по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

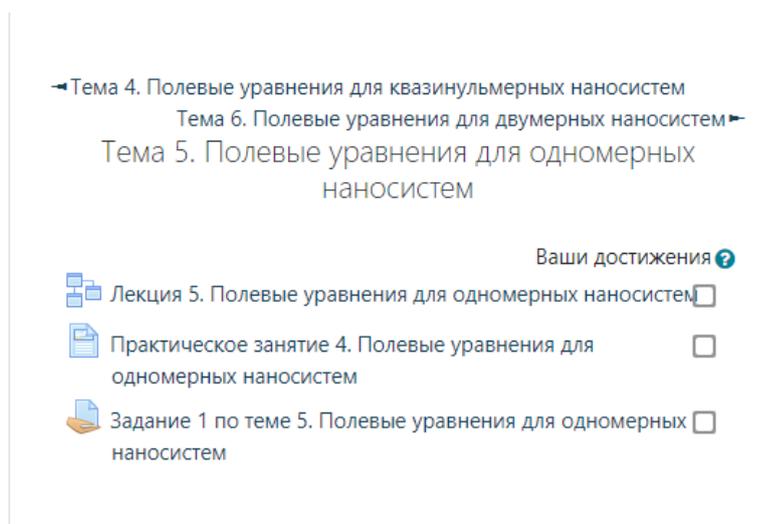


Рис. 8. Избранные элементы пятой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

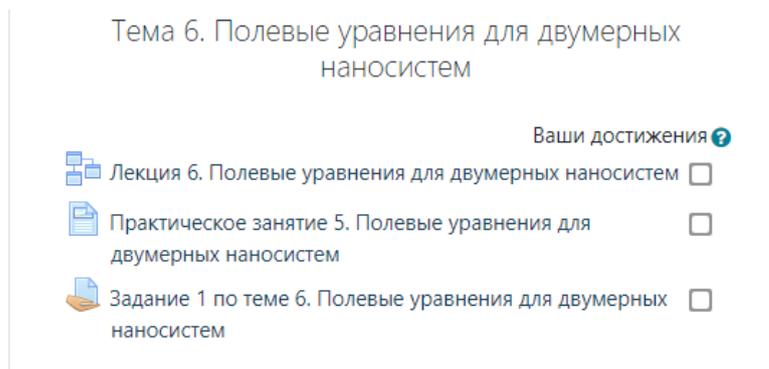


Рис. 9. Избранные элементы шестой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.



Рис. 10. Избранные элементы седьмой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

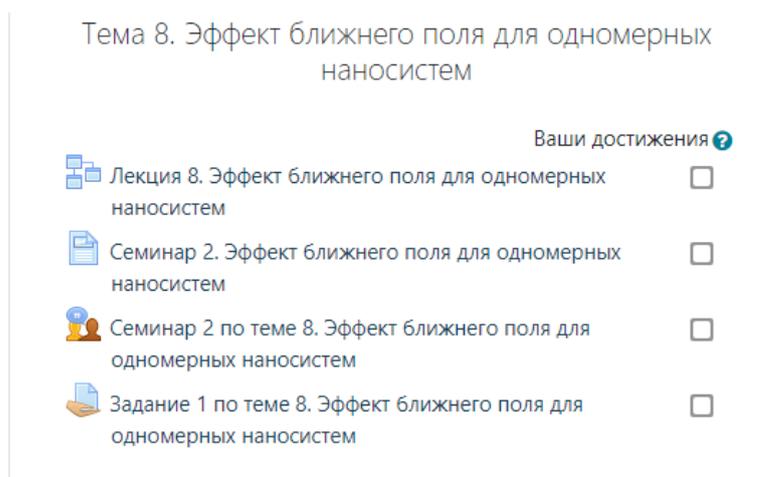


Рис. 11. Избранные элементы восьмой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном

портале университета в системе управления обучением MOODLE.

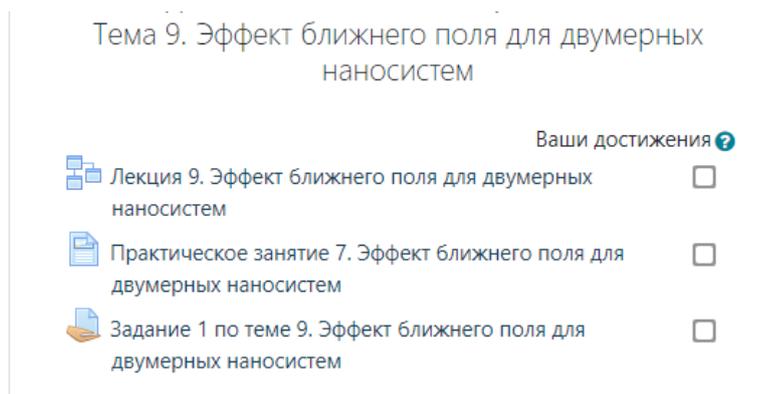


Рис. 12. Избранные элементы девятой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 12 приведено изображение страницы с избранными элементами девятой темы курса в виде лекции, страницы с заданиями к практическому занятию, задания по теме в составе дистанционного курса по нанооптике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

В седьмой теме содержится лекция 7 по теории на основе эффекта ближнего поля для квазиульмерных систем и одна страница для описания практического занятия 7 по теме эффекта ближнего поля для квазиульмерных систем.

В восьмой теме содержится лекция 8 по теории эффекта ближнего поля для одномерных наносистем. Следующим элементом темы 8 следует страница для пояснения подготовки по эффекту ближнего поля для одномерных систем. В теме 8 запланирован семинар 2 по эффекту ближнего поля для одномерных наносистем. К семинару 2 в теме 8 выдаётся список вопросов по эффекту ближнего поля для одномерных наносистем. Вопросы к семинару предлагаются учащимся заблаговременно до даты проведения семинара. Для выполнения заданий 2 в теме 8 предлагается заранее изучить материал в лекции 8. В восьмой теме запланировано задание 1 по вычислению поправки уравнений связанных с эффектом ближнего поля в одномерных наносистемах.

В девятой теме содержится лекция 9 по теории эффекта ближнего поля для двумерных наносистем. Следующим элементом темы 9 следует страница для пояснения подготовки по эффекту ближнего поля для двумерных систем. В девятой теме запланировано задание по вычислению поправки уравнений связанных с эффектом ближнего поля в двумерных наносистемах.

Использование дистанционного курса по нанооптике 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 оптике наноструктур.

## Результаты экспертной оценки курса нанооптики

Экспертная оценка дистанционного курса по нанооптике 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 9 баллов, за интерактивность курса выставил 8 баллов, за навигацию курса выставил 7 баллов, за дизайн курса выставил 7



Среднее значение отметок экспертов за структуру дистанционного курса по нанооптике составило 9.0. Среднее значение отметок экспертов за интерактивность дистанционного курса по нанооптике составило 7.7. Среднее значение отметок экспертов за навигацию дистанционного курса по нанооптике составило 7.8. Среднее значение отметок экспертов за дизайн дистанционного курса по нанооптике составило 7.8. Среднее значение отметок экспертов за интерфейс дистанционного курса по нанооптике составило 8.0. Среднее значение отметок экспертов за диагностику дистанционного курса по нанооптике составило 6.6. Среднее значение отметок экспертов за организацию самостоятельной работы дистанционного курса по нанооптике составило 6.7. Среднее значение отметок экспертов за соблюдение авторских прав в дистанционном курсе по нанооптике составило 9.5. Сумма средних значений по восьми критериям составила 63.1. Если перевести рейтинговую отметку по курсу в проценты, то получим значение, равное 78.9%, что соответствует конструктивному уровню дистанционного курса по нанооптике.

### **Результаты педагогического эксперимента по нанооптике**

Курс по нанооптике читается в восьмом семестре для студентов четвёртого курса педагогического университета, обучающихся по профилю подготовки в области физики и математики. В период с марта по май 2021 года осуществлялось наблюдение за результатами преподавания учебной дисциплины по нанооптике на четвёртом курсе в подгруппе ФМ-17-01. Преподавание учебной дисциплины по нанооптике осуществлялось в рамках дисциплин по выбору в подгруппе ФМ-17-01. Трудоёмкость учебной дисциплины по нанооптике составляла три зачётные единицы или 108 часов общей нагрузки. Подгруппа ФМ-17-01 состояла из шести человек. Аудиторные занятия по учебной дисциплине по нанооптике состоят из девяти лекций и пятнадцати лабораторных занятий. В результате изучения учебной дисциплины по нанооптике по учебной успеваемости были получены следующие результаты: 4 студента получили отметку «отлично», 2 студента получили отметку «удовлетворительно». Средний балл по учебной дисциплине по нанооптике составил 252 балла из 300 максимально возможных баллов. Степень обученности студентов по нанооптике составила 78.7%, что соответствует оптимальному уровню обученности студентов. На занятиях по учебной дисциплине по нанооптике в смешанной форме использовались дистанционные курсы и электронные образовательные ресурсы в виде сайтов с теоретическими материалами и материалами для осуществления планомерного и систематического контроля знаний в виде тестов по отдельным темам и контрольным тестам по курсу нанооптики.

### **Заключение**

Описаны результаты разработки системы для информационной поддержки преподавания учебной дисциплины по нанооптике в процессе подготовки педагога в педагогическом университете в условиях смешанного обучения.

По результатам исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. написанный обзор научных работ по оптическим свойствам наносистем и наноструктур, используемых в приборах и устройствах нанооптики, показал актуальность темы исследования и разработки дистанционного курса нанооптики,
2. разработанные теоретические материалы и материалы для контроля знаний позволили наполнить модульную структуру дистанционного курса по нанооптике,
3. разработанная система элементов контроля знания по курсу нанооптики показала свою эффективность в организации систематического контроля знаний,
4. разработанная модульная структура дистанционного курса нанооптики позволяет проводить эффективный контроль знаний, в том числе автоматизированный

контроль теоретических знаний по курсу нанооптики.

Созданный дистанционный курс по нанооптике готов к использованию в образовательном процессе педагогического университета на педагогических специальностях с профилем подготовки по физике и математике. Представленные элементы курса нанооптики позволяют организовать обучение в смешанной форме. Использование дистанционного курса по нанооптике позволяет в динамическом режиме контролировать ход изучения курса нанооптики. Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать модульную технологию проектирования курса нанооптики, то можно эффективно управлять темпом продвижения по курсу нанооптики, подтверждена полностью.

Задачи работы полностью решены.

#### Список использованных источников

1. Fourier-space generalized magneto-optical ellipsometry / Miguel A. Cascales Sandoval [et al.] // *Physical Review B*. — 2023. — may. — Vol. 107, no. 17. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.107.174420>.
2. Christopoulos Thomas, Kriezis Emmanouil E., Tsilipakos Odysseas. Multimode non-Hermitian framework for third harmonic generation in nonlinear photonic systems comprising two-dimensional materials // *Physical Review B*. — 2023. — jan. — Vol. 107, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.107.035413>.
3. Beyond bounds on light scattering with complex frequency excitations / Seunghwi Kim [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2022. — nov. — Vol. 129, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.129.203601>.
4. Anapole states and scattering deflection effects in anisotropic van der Waals nanoparticles / Andrei A. Ushkov [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — nov. — Vol. 106, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.106.195302>.
5. Wang Ningning, Ding Linhui, Wang Weihua. Magnetoplasmonic coupling in graphene nanodisk dimers: An extended coupled-dipole model for circularly polarized states // *Physical Review B*. — 2022. — jun. — Vol. 105, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.235435>.
6. Saddle-point exciton signature on high-order harmonic generation in two-dimensional hexagonal nanostructures / H. K. Avetissian [et al.] // *Physical Review A*. — 2022. — jun. — Vol. 105, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.105.063504>.
7. Noblet T., Busson B. Sum-frequency generation at molecule-nanostructure interfaces from diagrammatic theory of nonlinear optics // *Physical Review B*. — 2022. — may. — Vol. 105, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.205420>.
8. Basu Rajratan, Gess Derek T. Electro-optic hybrid aligned nematic device utilizing carbon nanotube arrays and two-dimensional hexagonal boron nitride nanosheet as alignment substrates // *Physical Review E*. — 2021. — nov. — Vol. 104, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreve.104.054702>.
9. Towards strong linear and nonlinear light-matter interactions in hybrid nanostructures of a single molecule and a plasmonic nanocavity / Ma-Long Hu [et al.] // *Physical Review B*. — 2021. — aug. — Vol. 104, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.104.064311>.

10. Enhanced optical nonlinearities under collective strong light-matter coupling / Raphael F. Ribeiro [et al.] // *Physical Review A*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.103.063111>.
11. Fazel-Najafabadi Atefeh, Schuster Sebastian, Auguie Baptiste. Orientation averaging of optical chirality near nanoparticles and aggregates // *Physical Review B*. — 2021. — mar. — Vol. 103, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.115405>.
12. Spontaneous emission of vector vortex beams / Domitille Schanne [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2020. — dec. — Vol. 14, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.14.064077>.
13. Coherent electron optics with ballistically coupled quantum point contacts / J. Freudenfeld [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2020. — sep. — Vol. 125, no. 10. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.107701>.
14. Extraordinary multipole modes and ultra-enhanced optical lateral force by chirality / Tongtong Zhu [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2020. — jul. — Vol. 125, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.043901>.
15. Alves Rúben A., Guerreiro Ariel, Navarro-Cía Miguel. Bridging the hydrodynamic Drude model and local transformation optics theory // *Physical Review B*. — 2020. — jun. — Vol. 101, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.101.235412>.
16. Analytical approximations for the dispersion of electromagnetic modes in slabs of biaxial crystals / Gonzalo Álvarez-Pérez [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — dec. — Vol. 100, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.100.235408>.
17. Panahpour Ali, Mahmoodpoor Abolfazl, Lavrinenko Andrei V. Refraction enhancement in plasmonics by coherent control of plasmon resonances // *Physical Review B*. — 2019. — aug. — Vol. 100, no. 7. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.100.075427>.
18. Алтунин К. К., Александрова Е. В. Исследование оптического пропускания и отражения нанокomпозитных структур с металлическими наночастицами // *НАУКА ONLINE*. — 2021. — № 4 (17). — С. 30–48. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2022/08/04172021-003-2.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](mailto:kostya_altunin@mail.ru)

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

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

E-mail: [el0al@yandex.ru](mailto:el0al@yandex.ru)

ORCID iD  0000-0002-0107-3143

Web of Science ResearcherID  AAX-8431-2021

Original article  
PACS 01.40.Di  
OCIS 310.6628  
MSC 00A79

## Development of a distance course on nanooptics in the learning management system MOODLE

K. K. Altunin , E. V. Alexandrova 

*Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia*

Submitted July 7, 2023

Resubmitted July 17, 2023

Published September 30, 2023

---

**Abstract.** The results of the development of a distance course on nanooptics in the learning management system MOODLE are presented. The features of the process of creating a distance course on nanooptics in the learning management system MOODLE are considered. The features of the development of theoretical elements and control elements for nanooptics in the learning management system MOODLE are considered. The results of the development of a modular structure and selected elements of a distance course on nanooptics in the learning management system MOODLE are discussed. A brief description of the main characteristics of the process of creating a distance course on nanooptics in the learning management system MOODLE is provided. The main features of teaching a course on nanooptics using the learning management system MOODLE are outlined. The use of the distance learning course format on nanooptics in the learning management system MOODLE on a problem-oriented basis ensures transparency of the results, including testing in the format of active, operational, reflective training in the physical fundamentals of the optics of nanostructures.

**Keywords:** nanooptics, distance course, course element, design

---

### References

1. Fourier-space generalized magneto-optical ellipsometry / Miguel A. Cascales Sandoval [et al.] // *Physical Review B*. — 2023. — may. — Vol. 107, no. 17. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.107.174420>.
2. Christopoulos Thomas, Kriezis Emmanouil E., Tsilipakos Odysseas. Multimode non-Hermitian framework for third harmonic generation in nonlinear photonic systems comprising two-dimensional materials // *Physical Review B*. — 2023. — jan. — Vol. 107, no. 3. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.107.035413>.
3. Beyond bounds on light scattering with complex frequency excitations / Seunghwi Kim [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2022. — nov. — Vol. 129, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.129.203601>.
4. Anapole states and scattering deflection effects in anisotropic van der Waals nanoparticles / Andrei A. Ushkov [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — nov. — Vol. 106, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.106.195302>.

5. Wang Ningning, Ding Linhui, Wang Weihua. Magnetoplasmonic coupling in graphene nanodisk dimers: An extended coupled-dipole model for circularly polarized states // *Physical Review B*. — 2022. — jun. — Vol. 105, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.235435>.
6. Saddle-point exciton signature on high-order harmonic generation in two-dimensional hexagonal nanostructures / H. K. Avetissian [et al.] // *Physical Review A*. — 2022. — jun. — Vol. 105, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.105.063504>.
7. Noblet T., Busson B. Sum-frequency generation at molecule-nanostructure interfaces from diagrammatic theory of nonlinear optics // *Physical Review B*. — 2022. — may. — Vol. 105, no. 20. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.205420>.
8. Basu Rajratan, Gess Derek T. Electro-optic hybrid aligned nematic device utilizing carbon nanotube arrays and two-dimensional hexagonal boron nitride nanosheet as alignment substrates // *Physical Review E*. — 2021. — nov. — Vol. 104, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreve.104.054702>.
9. Towards strong linear and nonlinear light-matter interactions in hybrid nanostructures of a single molecule and a plasmonic nanocavity / Ma-Long Hu [et al.] // *Physical Review B*. — 2021. — aug. — Vol. 104, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.104.064311>.
10. Enhanced optical nonlinearities under collective strong light-matter coupling / Raphael F. Ribeiro [et al.] // *Physical Review A*. — 2021. — jun. — Vol. 103, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreva.103.063111>.
11. Fazel-Najafabadi Atefeh, Schuster Sebastian, Auguie Baptiste. Orientation averaging of optical chirality near nanoparticles and aggregates // *Physical Review B*. — 2021. — mar. — Vol. 103, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.103.115405>.
12. Spontaneous emission of vector vortex beams / Domitille Schanne [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2020. — dec. — Vol. 14, no. 6. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.14.064077>.
13. Coherent electron optics with ballistically coupled quantum point contacts / J. Freudenfeld [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2020. — sep. — Vol. 125, no. 10. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.107701>.
14. Extraordinary multipole modes and ultra-enhanced optical lateral force by chirality / Tongtong Zhu [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2020. — jul. — Vol. 125, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.043901>.
15. Alves Rúben A., Guerreiro Ariel, Navarro-Cía Miguel. Bridging the hydrodynamic Drude model and local transformation optics theory // *Physical Review B*. — 2020. — jun. — Vol. 101, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.101.235412>.
16. Analytical approximations for the dispersion of electromagnetic modes in slabs of biaxial crystals / Gonzalo Álvarez-Pérez [et al.] // *Physical Review B*. — 2019. — dec. — Vol. 100, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.100.235408>.
17. Panahpour Ali, Mahmoodpoor Abolfazl, Lavrinenko Andrei V. Refraction enhancement in plasmonics by coherent control of plasmon resonances // *Physical Review B*. — 2019. — aug. — Vol. 100, no. 7. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.100.075427>.

18. Altunin K. K., Aleksandrova E. V. Investigation of optical transmission and reflection of nanocomposite structures with metal nanoparticles // Science Online. — 2021. — no. 4 (17). — P. 30–48. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2022/08/04172021-003-2.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 Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: [kostya.altunin@mail.ru](mailto:kostya.altunin@mail.ru)

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

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

E-mail: [el0al@yandex.ru](mailto:el0al@yandex.ru)

ORCID iD  0000-0002-0107-3143

Web of Science ResearcherID  AAX-8431-2021