Научная статья
УДК 372.853
ББК 74.48
ГРНТИ 14.35.09
ВАК 5.8.2.
PACS 01.40.Di
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике

В. Д. Однакова [1]

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432000, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 1 июля 2026 года
После переработки 3 июля 2026 года
Опубликована 30 сентября 2026 года

Аннотация. Представлены результаты разработки дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. Гибридная наноплазмоника является передовым междисциплинарным направлением на стыке нанофотоники, материаловедения и квантовых технологий. Целью исследования является разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, который будет способствовать повышению уровня знаний студентов по гибридной наноплазмонике, качества образования и развития навыков студентов университета в области наноплазмоники. Разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE приобретает особую актуальность в контексте цифровой трансформации образования.

Ключевые слова: курс, дистанционный курс, наноплазмоника, гибридная наноплазмоника, фотоника, нанофотоника, металлическая наноструктура, графен, плазмонный резонанс, наноструктура

Введение

Гибридная наноплазмоника является перспективном научным направлением на стыке нанооптики, плазмоники и материаловедения, изучающее взаимодействие локализованных плазмонных резонансов с другими наноструктурами (полупроводниками, молекулами, сверхпроводниками и магнитными материалами) для создания новых функциональных систем с улучшенными оптическими, электронными и сенсорными свойствами. Гибридная наноплазмоника исследует взаимодействие локализованных плазмонных резонансов металлических наноструктур с другими функциональными материалами — полупроводниками, двумерными кристаллами (графеном, дихалькогениды переходных металлов или соединения переходных металлов с халькогенами), молекулами или

[1] E-mail: lera.zhyravleva73510@mail.ru

сверхпроводниками — для создания систем с синергетически усиленными оптическими, электронными и сенсорными свойствами. Гибридная наноплазмоника представляет собой междисциплинарное направление на стыке оптики, нанофотоники и конденсированного состояния вещества, в котором интеграция различных материалов и структур позволяет достичь уникальных оптоэлектронных свойств, недоступных в классических плазмонных системах на основе благородных металлов. За последние пять лет научные исследования в этой области активно развиваются, демонстрируя прогресс в понимании фундаментальных механизмов взаимодействия света с гибридными наноматериалами, а также в разработке практических оптоэлектронных и квантовых приложений. В основе гибридной наноплазмоники лежат гибридные наноструктуры, такие как плазмонно-полупроводниковые гетеросистемы, металл-диэлектрик-металл наноплазмонные резонаторы и метаматериалы, которые объединяют коллективные колебания свободных электронов в металлах (плазмоны) с уникальными свойствами других наноматериалов, например, квантовыми точками или двумерными материалами, например, графеном. В гибридных наноструктурах плазмоны усиливают локальные электромагнитные поля, усиливая эффекты в сопряжённых материалах, такие как генерация экситонов, перенос заряда или нелинейные оптические процессы. Наноплазмоника активно развивается для применений в ультрачувствительных сенсорах, оптических вычислительных устройствах, оптоэлектронных устройствах (светодиоды, детекторы, лазеры с плазмонным усилением), энергоэффективной оптоэлектронике и катализе, где гибридные эффекты позволяют преодолеть фундаментальные ограничения традиционных плазмонных систем, улучшая, например, интенсивность поверхностного рассеянного света или эффективность фотодетектирования. Важными механизмами являются перенос энергии между плазмонами и экситонами, манипулирование горячими электронами и синхронизация колебательных мод, что открывает пути для создания наноразмерных источников света, модуляторов и логических элементов на основе плазмон-экситонных связей.

Ключевые механизмы включают нелинейные опто-плазмонные взаимодействия, перенос энергии между плазмонами и экситонами, а также манипулирование локальными электромагнитными полями для управления светом на наномасштабе, что открывает возможности для создания миниатюрных лазеров, модуляторов и логических элементов на основе света.

Научная и технологическая актуальность гибридной наноплазмоники и нанофотоники обусловлена её потенциалом для решения глобальных задач, таких как развитие гибкой электроники, квантовых технологий и медицинской диагностики, где интеграция плазмонных и других наноэффектов позволяет создавать устройства с рекордными характеристиками при минимальных энергозатратах.

Применения гибридной наноплазмоники охватывают медицинскую диагностику на основе ультрачувствительного обнаружения молекул, квантовые технологии на основе связи с использованием плазмонных волн и энергетику фототермальных и фотокаталитических системы, делая её ключевым направлением для решения задач в области гибкой электроники, нанофотоники и сенсорики. Особое внимание уделяется масштабируемым методам синтеза гибридных наноструктур (например, литография, самоорганизация, химическое осаждение) и их интеграции в функциональные устройства, что требует междисциплинарного подхода, объединяющего физику, химию и инженерию материалов. Гибридная наноплазмоника расширяет границы классической плазмоники за счёт нелинейных эффектов, когерентных взаимодействий и квантовых явлений, таких как плазмон-экситонные поляритоны или гибридизация с фононами, что открывает перспективы для разработки новых классов оптоэлектронных материалов с рекордными характеристиками, недостижимыми в изолированных системах.

Интеграция гибридной наноплазмоники в современные образовательные платформы, такие как система управления обучением MOODLE, актуальна в связи с растущим спросом на подготовку высококвалифицированных кадров в сфере нанотехнологий и оптоэлектроники, где дистанционное обучение позволяет использовать интерактивные симуляции, виртуальные лаборатории и мультимедийные материалы для моделирования плазмонных эффектов в метаматериалах и наноструктурах.

Разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE приобретает особую актуальность в контексте цифровой трансформации образования, где интеграция интерактивных симуляций (например, плазмонных резонансов в наноструктурах), виртуальных лабораторий и мультимедийных модулей позволяет студентам и аспирантам изучать междисциплинарные концепции квантовой оптики, фотоники и материаловедения в интерактивном формате, повышая глубину понимания сложных физических процессов. Разработка дистанционного курса в системе управления обучением MOODLE отвечает потребностям междисциплинарного подхода, объединяющего физику, материаловедение и инженерию, что обусловлено стремительным развитием прикладных исследований в области гибридных плазмонных систем, таких как сенсоры нового поколения, квантовые устройства и оптическая микроскопия сверхразрешения.

Актуальность темы исследования усиливается ростом спроса на специалистов в области нанотехнологий и оптоэлектроники, где дистанционное обучение с использованием системы управления обучением MOODLE обеспечивает доступ к передовым образовательным ресурсам, включая автоматизированные тесты, проектные задания и анализ реальных данных с использованием программного обеспечения (COMSOL, Lumerical, Python), что готовит выпускников к решению прикладных задач в наукоёмких отраслях. Актуальность темы также связана с необходимостью адаптации образовательных стандартов к новым вызовам цифровизации науки, где виртуальные лабораторные работы, автоматизированные тесты и активные методы обучения (например, проектная деятельность) в системе управления обучением MOODLE повышают эффективность усвоения сложных концепций, таких как локализованные плазмоны, гибридные наноматериалы и их взаимодействие с электромагнитным излучением.

Кроме того, внедрение гибридных образовательных подходов в системе управления обучением MOODLE соответствует современным тенденциям гибридного обучения, объединяя очные лекции с онлайн-модулями, что особенно важно для междисциплинарных дисциплин, таких как наноплазмоника, где необходим баланс между теоретическими знаниями и практическим применением, включая моделирование наноструктур и анализ экспериментальных данных.

Целью исследования является разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, который будет способствовать повышению уровня знаний студентов по гибридной наноплазмонике, качества образования и развития навыков студентов университета в области наноплазмоники.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. написать обзор научных работ по гибридной наноплазмонике,
2. разработать модульную структуру и содержание дистанционного курса по гибридной наноплазмонике,
3. создать материалы для дистанционного курса, способствующие лучшему пониманию студентами современных концепций наноплазмоники,
4. создать задания и тесты для проверки знаний студентов по курсу гибридной наноплазмоники.

Объектом исследования является курс гибридной наноплазмоники. Предметом ис-

следования является процесс разработки дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

В качестве методов исследования используются следующие методы: анализ существующих научных материалов по гибридной наноплазмонике, анализ существующих дистанционных курсов по наноплазмонике и физическим дисциплинам с использованием методов сравнительного анализа и экспертной оценки, методы разработки модульной структуры и содержания дистанционного курса по гибридной наноплазмонике с использованием методов системного анализа и проектирования на основе современных технологий обучения наноплазмонике, методы создания интерактивных и мультимедийных материалов с использованием методов компьютерной графики, анимации и видео, методы тестирования и оценки эффективности разработанного дистанционного курса по гибридной наноплазмонике. В качестве материалов исследования используются учебники и учебные пособия по гибридной наноплазмонике для университетов, учебно-методические материалы по гибридной наноплазмонике, методические рекомендации по разработке дистанционных курсов, примеры успешных дистанционных курсов по гибридной наноплазмонике и смежным физико-техническим дисциплинам, компьютерные программы и инструменты для создания интерактивных и мультимедийных материалов по гибридной наноплазмонике.

Научная новизна исследования заключается в создании нового дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, учитывающего современные тенденции и требования к образованию физико-математического профиля, а также в применении инновационных методов и технологий для разработки дистанционного курса по гибридной наноплазмонике.

Гипотеза научного исследования состоит в том, что если применять элементы дистанционного обучения в курсе гибридной наноплазмоники, то можно построить эффективную систему подготовки, которая будет эффективной и привлекательной для аудитории, а дистанционный курс гибридной наноплазмоники имеет ряд преимуществ перед другими формами обучения.

Теоретическая значимость научного исследования заключается в систематизации и обобщении существующих подходов к разработке дистанционных курсов по гибридной наноплазмонике, а также в определении основных принципов и требований созданию дистанционных курсов по гибридной наноплазмонике. Практическая значимость исследования состоит в возможности использования разработанного дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в образовательном процессе университетов, что позволит повысить качество образования по физико-техническим дисциплинам и развить навыки студентов университетов.

Обзор работ по гибридной наноплазмонике

Гибридная наноплазмоника является передовым междисциплинарным направлением на стыке нанофотоники, материаловедения и квантовых технологий. Гибридная наноплазмоника представляет собой междисциплинарное поле, где сочетаются наноинженерия, материаловедение и физика. Гибридная наноплазмоника является развивающейся областью на стыке фотоники, материаловедения и нанотехнологий, которая стремится объединить плазмонные (металлические) наноструктуры с диэлектрическими, полупроводниковыми или другими функциональными материалами для создания синергетических оптических свойств, которых ни один из компонентов не может достичь по отдельности. Гибридная наноплазмоника изучает взаимодействие электромагнитного излучения с коллективными колебаниями электронов (плазмонами) в металлических наноструктурах, объединенных с другими функциональными материалами. Основным преимуществом наноплазмоники является усиление оптических эффектов, модуляция

свойств через внешние поля (свет, магнитное поле) и интеграция с современными технологиями (фотоника, спинтроника, наноинженерия). Обычные плазмонные структуры (например, металлические наночастицы или волноводы) способны сильно локализовать свет на субволновых масштабах, но обладают существенным недостатком — высокими омическими потерями, из-за чего свет быстро затухает. Основная идея заключается в преодолении фундаментальных ограничений каждого отдельного компонента — высоких диссипативных потерь металлов и дифракционные ограничения диэлектриков — путём создания гибридных систем, которые обеспечивают «лучшее из обоих миров» @auxrussian@auxenglish[1, 2].

Плазмонные наноструктуры (обычно изготавливаемые из Au, Ag, Cu или Al) используют явление локализованного поверхностного плазмонного резонанса — коллективного колебания электронов зоны проводимости при возбуждении светом. Локализованный поверхностный плазмонный резонанс позволяет чрезвычайно сконцентрировать электромагнитную энергию в субволновых объёмах, значительно ниже дифракционного предела, и приводит к резкому усилению локального поля [3, 4]. Однако это имеет свою цену: внутренние омические (диссипативные) потери в металлах, которые приводят к существенному рассеиванию энергии в виде тепла и ограничивают длину распространения поверхностных плазмон-поляритонов [2, 5].

Диэлектрические наноструктуры, изготовленные из полупроводников с высоким показателем преломления (например, Si, GaAs, ZnS, TiO_2), поддерживают резонансы Ми — как электрические, так и магнитные — с гораздо меньшими диссипативными потерями, но они не могут удерживать свет в объёмах, значительно меньших по длине волны, из-за дифракционного предела [2, 5]. Гибридные (металл-диэлектрические) наноструктуры заполняют этот пробел: они объединяют сильную локализацию поля, характерную для плазмоники, с резонансами диэлектриков с низкими потерями и высоким коэффициентом добротности (Q), что позволяет осуществлять беспрецедентный контроль над взаимодействием света и материи в наномасштабе [2, 6, 7].

Один из основных классов гибридных систем объединяет плазмонные наночастицы (например, золотые наностержни, наносферы) с диэлектрическими фотонными резонаторами или резонаторами Фабри-Перо. Барт и др. [6] продемонстрировали гибридный резонатор, в котором отдельные золотые наночастицы были детерминированно расположены на фотонном кристалле Si_3N_4 с помощью наноманипуляций атомной силовой микроскопии. Плазмонный компонент обеспечивал сильно локализованные «горячие точки» поля, в то время как фотонный кристалл сохранял высокую добротность ($Q \approx 900$). Связь между двумя резонансами приводила к линиям Фано и эффективности связи $\beta \approx 40\,\%$ от плазмонной наноантенны в моду резонатора, что приводило к суммарному коэффициенту усиления Пурселла ≈ 10 раз по сравнению с голым резонатором [6].

Аналогично, Ли с соавторами [3] сообщили о вертикальном гибридном плазмонно-фотонном резонаторе, состоящем из золотых наносфер, осажденных на микрорезонаторе Фабри-Перо SiO_2/Si. Благодаря модификации латеральной ближнеполевой связи мономеров и димеров наносфер Au, различные выходные моды могут быть избирательно усилены из одной и той же полости, демонстрируя, что геометрия плазмонной связи может быть использована в качестве компактной стратегии оптической модуляции с шириной линии моды, уменьшенной с ≈ 61 нм (чистый локализолванный поверхностных плазмонный резонанс) до ≈ 28 нм [3].

Оултон и др. первыми разработали концепцию гибридных плазмонных волноводов, состоящих из полупроводниковой нанопроволоки с высоким показателем преломления (например, CdS, Si), отделенной от металлической пленки наноразмерным диэлектрическим разделителем с низким показателем преломления (например, SiO_2, MgF_2) [5, 7]. В

этих структурах направленная мода сжимается в нанометровый зазор с низким показателем преломления, сочетая глубоко субволновое ограничение (площади мод до $\lambda^2/135$) с длинами распространения на несколько порядков больше, чем в чистых плазмонных волноводах [1, 5]. Такая конструкция позволила создавать плазмонные нанолазеры при комнатной температуре с объёмами мод, сопоставимыми с наименьшими размерами затворов транзисторов, и значительным усилением Пурселла — шестикратным увеличением скорости спонтанного излучения по сравнению с лазерами, использующими только фотонные структуры [5].

Янг и др. [7] предложили гибридную фотонно-плазмонную кристаллическую наноразонаторную структуру, интегрировав одномерную структуру фотонного кристалла в кремниевый волновод такой гибридной системы, с наноразмерным воздушным зазором между волноводом и серебряной подложкой. Эта полость достигла добротности $Q \approx 330$ и чрезвычайно глубокого субволнового объема моды V_m, равного $0.0056\lambda^3$, что дало исключительное отношение Q/V_m, равное $60000\lambda^{-3}$, и соответствующий фактор Пурселла ≈ 4560 [7].

Цзян и др. [4] представили всесторонний обзор гибридных наноструктур (плазмонный металл)/полупроводник. К ним относятся: частицы с ядром и оболочкой (например, ядро из золота с оболочками из TiO_2, Cu_2O, ZnS или CdS), частицы Януса (гантелевидные) и декорированные наноструктуры (полупроводниковые нанопроволоки или нанопластины, декорированные плазмонными металлическими наночастицами). Полупроводниковым компонентом может быть оксид (TiO_2, ZnO, Cu_2O), халькогенид (CdS, PbS, CdSe) или другой функциональный материал. Локализованный поверхностный плазмонный резонанс металлического компонента может быть настроен в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах путём контроля размера ядра, толщины оболочки и морфологии. Критически важно отметить, что в наноструктурах (ядро из золота)/(оболочка из ZnS) наблюдались резонансы Фано, возникающие в результате интерференции между узким локализованным поверхностным плазмонным резонансом металла и широким континуумом рассеяния полупроводниковой оболочки с высоким показателем преломления, что открывает новые возможности для управления формой спектральных линий [4].

Лепешов с соавторами в статье [2] рассматривают различные гибридные металл-диэлектрические наноантенны, которые сочетают плазмонные наночастицы с диэлектрическими наночастицами с высоким показателем преломления. Например, кремниевая наносфера, соединенная с золотым наностержнем, поддерживает до четырёх различных каналов рассеяния (гибридизированные магнитно-электрические моды диэлектрика и плазмонные моды металла), что позволяет пространственно разделять оптические сигналы на разных частотах. Такие наноантенны использовались для однонаправленного рассеяния (источники Гюйгенса), направленного запуска поверхностного плазмон-поляритона в плазмонные волноводы и усиления нелинейной оптической генерации [2].

Критически важным аспектом гибридной плазмоники является понимание того, как энергия перетекает через плазмонную/неплазмонную границу раздела. Ашалли и др. [8] обсуждают фундаментальные процессы возбуждения и распада плазмонов в гибридных наноструктурах. При возбуждении поверхностных плазмон-поляритонных резонансов коллективные электронные колебания затухают в течение ≈ 10 фс либо за счёт рассеяния фотонов, либо за счёт образования энергетических электронно-дырочных пар. В чистых монометаллических наночастицах эти электронно-дырочные пары образуются по всему объёму. Однако, когда к плазмонной поверхности прикрепляется неплазмонный материал (например, тонкая платиновая оболочка, полупроводниковый слой или хемосорбированные молекулы), открываются новые межфазные электронные состоя-

ния, создающие быстрые, локализованные каналы рассеивания энергии [8].

Крайне важно, что первоначальное образование энергетических пар электронов и дырок преимущественно локализуется на плазмонно-неплазмонной границе раздела или непосредственно внутри прикрепленного материала. Это явление обусловлено тремя факторами: высоким локализованным резонансом поверхностных плазмонов, вызывающим осциллирующее электрическое поле на поверхности, механизмом распада Крейбига (опосредованным поверхностью), характерным для малых наночастиц, и наличием прямых электронных переходов с сохранением импульса в неплазмонной компоненте [8]. Это понимание бросает вызов упрощённым «двухтемпературным» термическим моделям и открывает возможности для извлечения горячих носителей через барьеры Шоттки в металл/полупроводниковых переходах до их термализации, что находит применение в фотокатализе, фотовольтаике и фотодетектировании [8].

Гибридные плазмонные волноводы, изготовленные из нелинейного полупроводника (например, AlGaInP) с резонансной плазмонной полостью (плёнка Ag + прослойка Al_2O_3), достигли рекордно высокой эффективности преобразования генерации второй гармоники и суммарной частоты на телекоммуникационных длинах волн (1.3−1.6 мкм), при этом площади мод уменьшились до $\lambda^2/135$, а объёмы мод – до $\lambda^3/206$ [1]. Сильное ограничение поля и усиление электрического поля, обеспечиваемые плазмонной полостью, имеют важное значение — соответствующая чисто диэлектрическая система показала практически незаметное нелинейное преобразование [1].

Гибридные плазмонные лазеры (спайсеры) на основе конфигураций из нанопроволок CdS/нанолазера MgF_2/плёнки Ag продемонстрировали генерацию лазерного излучения при комнатной температуре в масштабах, значительно меньших длины волны, с повышенной скоростью спонтанного излучения [5]. Гибридный режим жёстко локализован в диэлектрическом плазмонном излучателе толщиной в нанометр, что минимизирует потери в металле, сохраняя при этом сильную локализацию поля.

Сильные эванесцентные поля и локальное усиление поля в гибридных нанопроволочных волноводах позволяют проводить высокочувствительное химическое и биологическое зондирование. Плазмонные нанопроволоки (например, нанопроволоки Ag) использовались для внутриклеточного поверхностно-усиленного рамановского рассеяния, а гибридные фотонно-плазмонные волноводы обещают чувствительность к отдельным молекулам без использования меток [5, 8].

Гибридные наноструктуры металл/полупроводник, такие как наночастицы Au на TiO_2 или ZnO, используют плазмонно-усиленное поглощение света и инжекцию горячих электронов через барьер Шоттки металл-полупроводник для запуска фотокаталитических реакций (например, расщепление воды, восстановление CO_2, разложение загрязняющих веществ) с эффективностью, распространяющейся на видимый и ближний инфракрасный спектральные области за пределы запрещённой зоны полупроводника [4, 8].

В работах [2, 6] показано, что гибридные плазмонно-фотонные резонаторы служат платформами для квантовой электродинамики в резонаторах, предлагая потенциал для эффективных источников одиночных фотонов и нанолазеров. Объединяя фотонный резонатор с высокой добротностью (для спектральной фильтрации и хранения фотонов) с плазмонной наноантенной (для сильного ограничения поля и повышения скорости излучения), гибридные системы могут достигать высоких факторов Пурселла, сохраняя при этом эффективный сбор фотонов [2, 6].

Наноплазмоника представляет собой мощную парадигму управления оптическим излучением в наноразмерном масштабе за счёт синергетического сочетания плазмонных и диэлектрических или полупроводниковых материалов. Наноплазмоника развилась от концептуальных предложений до экспериментально продемонстрированных устройств

— нанолазеров, нелинейных преобразователей частоты, сверхчувствительных датчиков и эффективных фотокатализаторов. Будущие задачи включают масштабирование методов изготовления (например, точное размещение наночастиц, крупномасштабная литография), снижение потерь в металле за счёт усовершенствованного проектирования материалов (например, эпитаксиальные металлические плёнки, диэлектрики с низкими потерями) и разработку количественных теоретических моделей, которые отражают пространственно и временно неоднородный характер потока энергии в этих многокомпонентных системах [2, 5, 8].

Несмотря на колоссальный потенциал, наноплазмоника сталкивается с рядом фундаментальных физических задач. Главной из этих задач является технологическая сложность точного позиционирования нанокомпонентов на квантовом уровне и поиск путей для минимизации тепловыделения при сильной локализации света. По мере решения этих задач гибридные наноплазмонные устройства готовы стать ключевыми строительными блоками в интегрированных фотонных схемах, квантовой обработке информации и технологиях сбора энергии.

Гибридная наноплазмоника демонстрирует высокий потенциал для революционных прорывов в оптоэлектронике, катализе и биотехнологиях благодаря уникальной способности сочетать плазмонные эффекты с функциональными свойствами других материалов, такими как полупроводники, двухмерных материалы и магнетики. Синергетическое взаимодействие между компонентами гибридных систем, например, усиление локальных электромагнитных полей или управление спиновыми состояниями, которое открывает новые возможности для создания сверхчувствительных сенсоров, высокоэффективных фотокатализаторов и компактных оптоэлектронных устройств. Однако дальнейшее развитие наноплазмоники требует решения ключевых вызовов, среди которых стабильность наноструктур, масштабируемость технологий и оптимизация их биохимической или химической совместимости для практического применения. В перспективе, интеграция гибридной наноплазмоники с передовыми методами, такими как квантовые технологии, трёхмерная нанофабрикация и машинное обучение, может ускорить переход от лабораторных прототипов к коммерчески жизнеспособным решениям в медицине, энергетике и информационных технологиях.

Гибридная наноплазмоника демонстрирует уникальные возможности для управления светом на наномасштабах, сочетая преимущества металлических плазмонных структур с уникальными свойствами диэлектриков, полупроводников и двумерных материалов. Современные исследования показывают, что такие системы могут быть использованы для создания сверхчувствительных сенсоров, эффективных оптоэлектронных устройств и квантовых технологий. Однако для практического внедрения необходимо решить задачи масштабируемости, управления потерями и теоретического описания сложных взаимодействий. Будущие разработки в области плазмоники, несомненно, откроют новые горизонты для оптоэлектроники, квантовых вычислений, делая гибридную наноплазмонику одним из наиболее перспективных направлений современной науки о материалах.

Результаты разработки структуры дистанционного курса по гибридной наноплазмонике

Разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE требует последовательного подхода, обеспечивающего глубокое усвоение материала, развитие навыков моделирования и практического применения полученных знаний. Для создания эффективного курса общим объёмом 180 академических часов необходимо начать с тщательной концептуализации его структуры и методики преподавания.

Формирование концепции дистанционного курса по гибридной наноплазмонике начинается с определения целевой аудитории и уровня подготовки слушателей, предполагая, что у них уже имеются базовые знания в области физики и электроники, но отсутствует опыт работы с современными методами моделирования наноструктур. Важно четко сформулировать образовательные цели: развитие аналитического мышления, навыков работы с программным обеспечением для моделирования и понимание физических принципов гибридной наноплазмоники.

Создание образовательного сценария предполагает разработку логически последовательного изложения материала, начиная с основных понятий и заканчивая применением сложных численных методов. Первые темы должны быть посвящены теоретическим основам наноплазмоники и электродинамике, чтобы слушатели могли постепенно перейти к изучению гибридных систем и методов их моделирования. Например, тема по введению в наноплазмонику должна включать исторический обзор, основные понятия и актуальные тенденции развития области, чтобы мотивировать слушателей на дальнейшее изучение предмета.

Разработка модульной структуры дистанционного курса по гибридной наноплазмонике подразумевает деление всего материала на логически отдельные блоки, каждый из которых посвящён определённой теме или набору тем. В каждом блоке необходимо предусмотреть теоретическую часть, включающую лекционные материалы, презентации и тексты, а также практические задания, которые помогут слушателям закрепить полученные знания. Например, после изучения темы по оптическим свойствам металлов и диэлектриков целесообразно предложить задание по моделированию дисперсионных соотношений с использованием базовых формул.

Создание учебно-методических материалов включает подготовку лекционных слайдов, текстов лекций, раздаточных материалов и заданий для самостоятельной работы. Важно, чтобы все материалы были структурированы и легко доступны для скачивания, а также адаптированы для дистанционного формата. Особое внимание следует уделять наглядным материалам, таким как графики, схемы и анимации, которые помогут слушателям лучше понять сложные физические процессы.

Разработка практических заданий и лабораторных работ является одним из ключевых этапов курса, поскольку позволяет слушателям применить теоретические знания на практике. Например, после изучения методов конечных элементов и конечных разностей во времени можно предложить задание по моделированию плазмонных наноантенн в программном обеспечении COMSOL или Lumerical. Это поможет развить навыки работы с современным инструментарием и даст возможность оценить эффективность различных конфигураций наноструктур.

Интеграция интерактивных элементов для повышения степени вовлечённости слушателей курса предполагает использование онлайн-конференций, форумов и тестов. Например, после каждой значимой темы можно проводить вебинары, где преподаватели обсудят сложные вопросы и ответят на вопросы слушателей. Также полезно использовать форумы для обсуждения практических заданий и обмена опытом между участниками курса.

Создание системы контроля и оценивания должно быть основано на комплексном подходе, включая текущий контроль знаний через тесты, выполнение практических заданий и итоговый контроль через выполнение проектной работы. Например, слушатели могут получить задание по разработке модели гибридной наноструктуры с использованием нескольких инструментов, таких как Python, R и COMSOL, что позволит оценить их интегральные знания и навыки.

Организация обратной связи от слушателей и внесение коррективов в дистанционный курс является важным этапом, так как позволяет оперативно реагировать на

возникающие сложности и улучшать материал. Регулярные опросы и анкетирования помогут выявить проблемные темы и скорректировать структуру курса для повышения его эффективности.

Разработка механизмов взаимопомощи и сопровождения подразумевает создание сообществ поддержки, где слушатели могут делиться своими успехами и трудностями. Например, можно организовать чаты или группы в социальных сетях, где участники смогут обсуждать задания, делиться полезными ресурсами и поддерживать друг друга.

Подготовка преподавателей к ведению дистанционного курса включает обучение работе с платформой MOODLE, методами эффективного обучения на расстоянии и созданию интерактивных материалов. Преподаватели должны быть готовы отвечать на вопросы слушателей в онлайн-режиме и обеспечивать качественное сопровождение учебного процесса.

Пилотное тестирование курса до его официального запуска поможет выявить и устранить возможные недостатки. Пилотная группа слушателей позволит оценить эффективность учебных материалов, сложность практических заданий и вовлечённость участников, что в свою очередь поможет скорректировать курс перед масштабным запуском.

Маркетинг и продвижение курса включает разработку информационных материалов о курсе, его преимуществах и целевой аудитории. Необходимо создать сайт или страницу в социальных сетях, где потенциальные слушатели смогут получить информацию о программе, расписании и условиях обучения. Также полезно использовать партнерские соглашения с другими образовательными учреждениями или компаниями для привлечения целевой аудитории.

Запуск и постоянное сопровождение дистанционного курса по гибридной наноплазмонике предполагает организацию регулярных онлайн-консультаций и вебинаров, обновление материалов на основе обратной связи от слушателей. Важно поддерживать активное взаимодействие с участниками курса, чтобы они чувствовали поддержку и мотивированность на протяжении всего периода обучения.

Разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике требует системного подхода, сочетающего теоретическое обучение, практическую работу и активное взаимодействие слушателей друг с другом и с преподавателями. В результате слушатели должны не только получить глубокие знания в области гибридной наноплазмоники, но и развить практические навыки работы с современными инструментами моделирования, что позволит им успешно применять полученные знания в научной и инженерной деятельности.

Первая тема посвящена изучению введения в наноплазмонику. Вторая тема посвящена изучению электродинамики на основе уравнений Максвелла в нанометровом масштабе. Третья тема посвящена изучению оптических свойств металлов и диэлектриков. Четвёртая тема посвящена изучению гибридных металл-диэлектрических систем и наноструктур. Пятая тема посвящена изучению плазмон-фотонных кристаллов и метаматериалов. Шестая тема посвящена изучению гибридных систем с квантовыми точками и молекулами. Седьмая тема посвящена изучению термооптических эффектов в гибридных наноструктурах. Восьмая тема посвящена изучению аналитических методов на основе электрического дипольного приближения и теории Ми. Девятая тема посвящена изучению численных методов моделирования. Десятая тема посвящена изучению метода матрицы плотности и квантово-механического моделирования гибридных систем. Одиннадцатая тема посвящена изучению статистических методов и анализа данных в Python и R. Двенадцатая тема посвящена изучению фотоники и лазеров на основе гибридных лазерных структур. Тринадцатая тема посвящена изучению применений в сенсорике для моделирования плазмонных сенсоров. Четырнадцатая тема посвящена

изучению нелинейных эффектов гибридной наноплазмоники. Пятнадцатая тема посвящена изучению комбинированного использования всех инструментов (Python + R + COMSOL) для моделирования структур гибридной наноплазмоники.

Для успешного педагогического проектирования дистанционного курса по гибридной наноплазмонике объёмом 180 академических часов необходимо последовательно проходить этапы, каждый из которых логически обоснован и взаимосвязан с предыдущими и последующими шагами. Начальный этап предполагает проведение анализа образовательных потребностей и определение целевой аудитории, поскольку это закладывает основу для формирования целей и задач курса. Учитывая, что слушатели, скорее всего, уже обладают базовыми знаниями в области физики и электроники, но не имеют опыта в области наномасштабного моделирования, необходимо сформулировать учебные цели с акцентом на развитие прикладных навыков и аналитического мышления, а также понимание физических принципов гибридных наносистем.

После определения целевой аудитории и образовательных целей следует разработать концептуальную модель курса, основу которой составляют его образовательные цели, структура и методические подходы. Концептуальная модель должна включать не только последовательность изложения тем, но и методы оценки знаний, а также механизмы обратной связи для оперативной коррекции учебного процесса. Например, темы, связанные с численными методами моделирования, должны быть тесно интегрированы с практической деятельностью, чтобы слушатели могли сразу применить изучаемые методы на реальных задачах.

Сразу после концептуализации курса необходимо разработать модульную структуру дистанционного курса, где каждая из пятнадцати тем будет представлена в виде отдельных учебных модулей. Каждый модуль должен содержать теоретическую базу, практические задания и материалы для самостоятельной работы, включая лекции, примеры решения задач, интерактивные симуляции и наборы данных для анализа. Например, тематический модуль по численным методам моделирования должен начинаться с теоретического обоснования метода конечных элементов и метода конечных элементов во временной области, а затем переходить к практическим заданиям в программных пакетах COMSOL и Lumerical, где слушатели смогут смоделировать оптические свойства наноструктур.

На следующем этапе требуется создать учебно-методические материалы, которые будут использоваться в процессе обучения. Материалы должны быть адаптированы под дистанционный формат, включать в себя тексты лекций, презентации с анимациями и графиками, а также раздаточные материалы с ключевыми формулами и алгоритмами. Особое внимание следует уделить наглядности и доступности содержания, так как дистанционная форма обучения требует повышенного уровня визуализации сложных физических процессов. Также необходимо предусмотреть библиографический список научных статей и учебных пособий для углубленного изучения тем.

Одновременно с разработкой учебных материалов следует создать систему контроля и оценивания знаний, которая будет учитывать как текущие успехи слушателей, так и итоговые результаты. Для этого можно использовать комбинацию тестов с автоматизированной проверкой, выполнение практических работ, прохождение лабораторных заданий и выполнение проектных работ. Например, для оценки понимания численных методов слушатели могут решать задачи в COMSOL с последующей защитой результатов в виде отчетов. Итоговая аттестация может включать комплексное задание по моделированию гибридной наноструктуры с использованием Python, R и COMSOL, что позволит оценить интегральные знания и навыки.

После разработки модулей и системы оценивания необходимо организовать интерактивные элементы, которые повысят вовлечённость слушателей в учебный процесс. Для

этого можно использовать форумы для обсуждения теоретических вопросов и практических заданий, онлайн-конференции, где преподаватели будут отвечать на вопросы слушателей, а также совместные вебинары по ключевым темам. Например, после изучения модуля о плазмон-фотонных кристаллах можно организовать вебинар с приглашёнными экспертами в области метаматериалов для обсуждения актуальных исследований и применений таких систем.

Далее требуется провести пилотное тестирование курса с ограниченной группой слушателей для выявления возможных проблем и оценки эффективности учебных материалов. На этом этапе важно собрать обратную связь от студентов и преподавателей, чтобы выявить слабые места в структуре курса, сложность отдельных тем и уровень практических заданий. На основе собранной информации можно внести коррективы в учебные материалы, скорректировать сроки выполнения заданий и уточнить методические рекомендации для преподавателей.

После завершения пилотного тестирования необходимо подготовить преподавателей к ведению дистанционного курса. Это включает обучение работе с платформой MOODLE, методам эффективного обучения на расстоянии и созданию интерактивных материалов. Преподаватели должны быть обучены проводить онлайн-консультации, оценивать работы студентов и поддерживать вовлечённость слушателей на протяжении всего курса. Также важно организовать систему поддержки преподавателей, где они смогут делиться опытом и получать рекомендации по решению возникающих проблем. Параллельно с подготовкой преподавателей следует заняться разработкой механизмов взаимопомощи и сопровождения для слушателей. Это могут быть группы поддержки в социальных сетях или специализированные чаты, где студенты смогут обсуждать задания, делиться ресурсами и оказывать взаимопомощь. Такие механизмы способствуют формированию сообщества, что повышает мотивацию слушателей и улучшает результаты обучения.

Завершающий этап перед запуском курса предполагает маркетинг и продвижение образовательной программы. Необходимо разработать информационные материалы, такие как описание курса, программа обучения, условия допуска и требования к итоговым работам. Одновременно следует создать сайт или страницы в социальных сетях, где потенциальные слушатели смогут получить полную информацию о курсе, а также оставить заявку на участие. Важно также установить партнерские связи с научными учреждениями и компаниями, работающими в области нанотехнологий, чтобы привлечь целевую аудиторию и повысить престиж курса.

После запуска курса необходимо обеспечить его постоянное сопровождение, включающее проведение регулярных вебинаров, онлайн-консультаций и обновление учебных материалов на основе обратной связи от слушателей. Важно поддерживать активное взаимодействие с участниками курса, чтобы они чувствовали поддержку и были мотивированы на протяжении всего обучения. На этом этапе также полезно организовывать семинары по итогам прохождения модулей и итоговые конференции, где студенты смогут представить результаты своих проектных работ. Таким образом, педагогическое проектирование дистанционного курса по гибридной наноплазмонике требует системного подхода, учитывающего как теоретическую подготовку, так и практическое применение знаний. Важно обеспечить сбалансированное сочетание теоретического обучения, практических заданий и интерактивного взаимодействия, чтобы студенты не только усвоили материал, но и приобрели навыки, необходимые для дальнейшей научной деятельности.

Результаты разработки материалов дистанционного курса по гибридной наноплазмонике

Первая лекция посвящена изучению введения в наноплазмонику. Вторая лекция посвящена изучению электродинамики на основе уравнений Максвелла в нанометровом масштабе. Третья лекция посвящена изучению оптических свойств металлов и диэлектриков. Четвёртая лекция посвящена изучению гибридных металл-диэлектрических систем и наноструктур. Пятая лекция посвящена изучению плазмон-фотонных кристаллов и метаматериалов. Шестая лекция посвящена изучению гибридных систем с квантовыми точками и молекулами. Седьмая лекция посвящена изучению термооптических эффектов в гибридных наноструктурах. Восьмая лекция посвящена изучению аналитических методов на основе электрического дипольного приближения и теории Ми. Девятая лекция посвящена изучению численных методов моделирования. Десятая лекция посвящена изучению метода матрицы плотности и квантово-механического моделирования гибридных систем. Одиннадцатая лекция посвящена изучению статистических методов и анализа данных в Python и R. Двенадцатая лекция посвящена изучению фотоники и лазеров на основе гибридных лазерных структур. Тринадцатая лекция посвящена изучению применений в сенсорике для моделирования плазмонных сенсоров. Четырнадцатая лекция посвящена изучению нелинейных эффектов гибридной наноплазмоники. Пятнадцатая лекция посвящена изучению комбинированного использования всех инструментов (Python + R + COMSOL) для моделирования структур гибридной наноплазмоники.

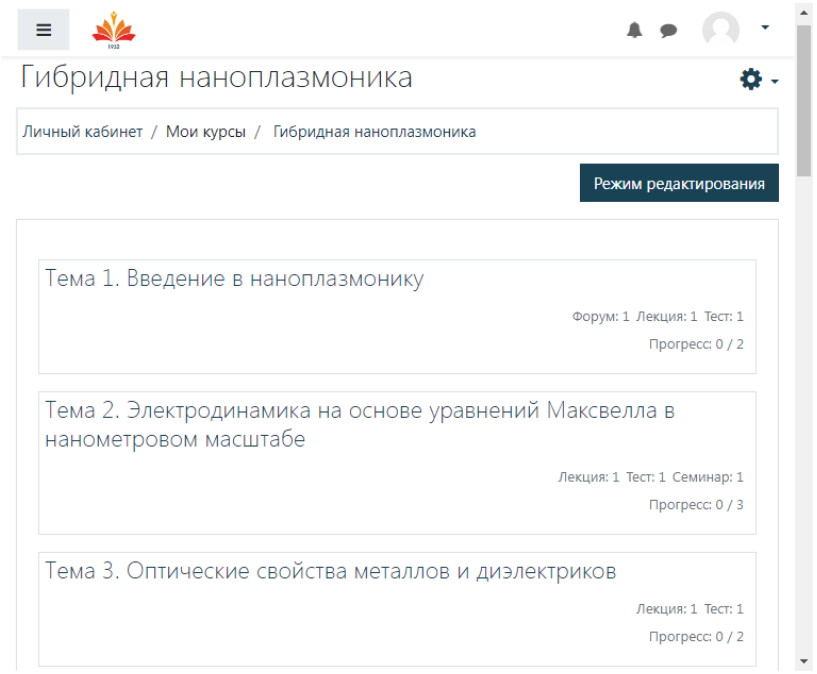


Рис. 1. Страница тематических модулей первой зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение страницы тематических модулей первой зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение страницы тематических модулей второй зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

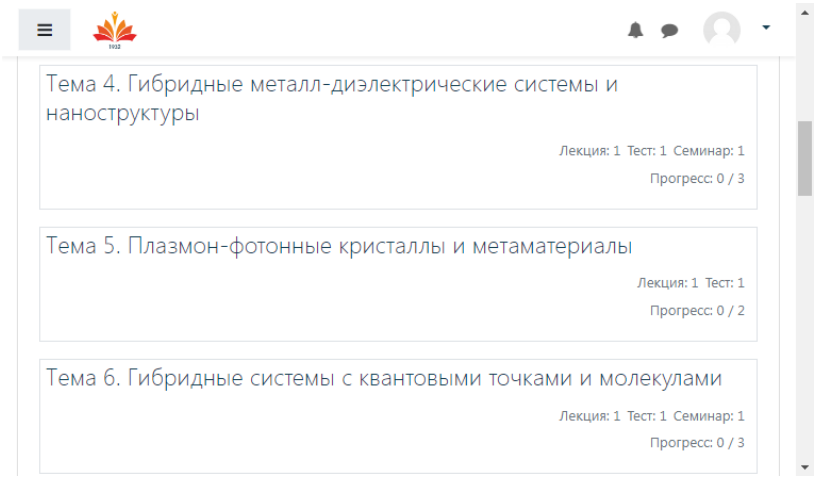


Рис. 2. Страница тематических модулей второй зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

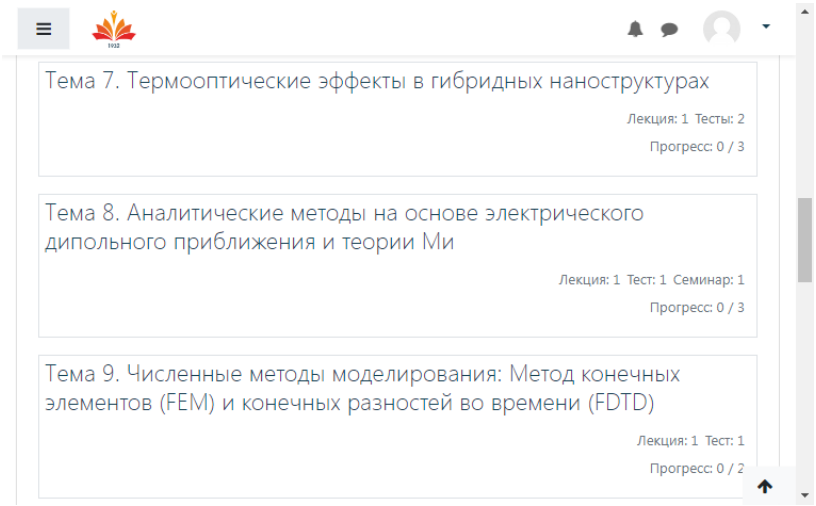


Рис. 3. Страница тематических модулей третьей зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 приведено изображение страницы тематических модулей третьей зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 4 приведено изображение страницы тематических модулей четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 5 приведено изображение страницы тематических модулей пятой зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение страницы элементов первой темы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 7 приведено изображение страницы элементов второй темы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

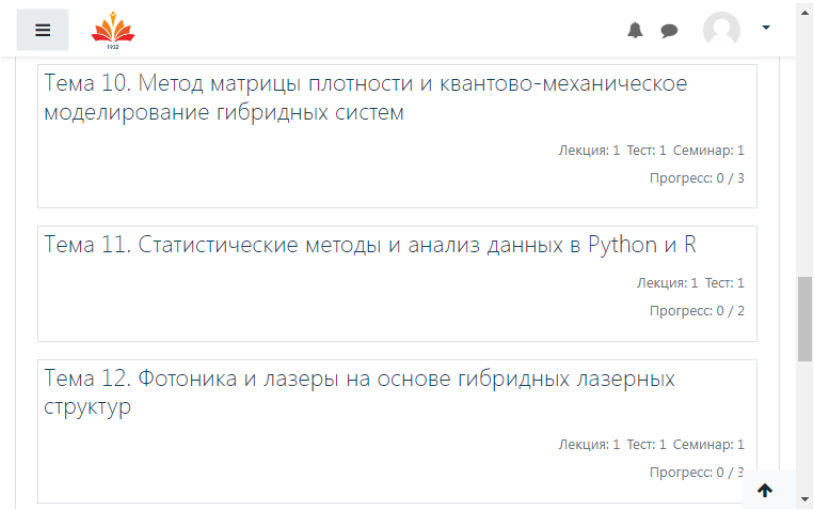


Рис. 4. Страница тематических модулей четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

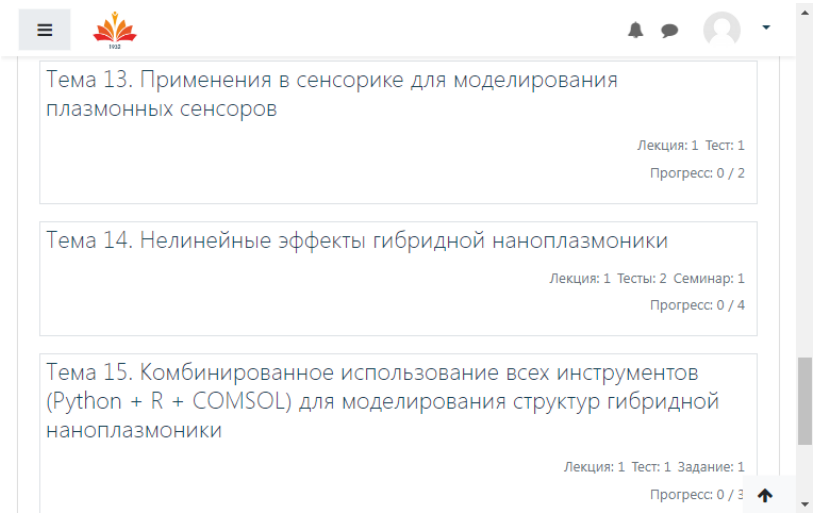


Рис. 5. Страница тематических модулей пятой зачётной единицы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 8 приведено изображение страницы элементов третьей темы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

Первое занятие проводится в форме теста по введению в наноплазмонику. Второе занятие проводится в форме теста по электродинамике на основе уравнений Максвелла в нанометровом масштабе. Третье занятие проводится в форме семинара по электродинамике на основе уравнений Максвелла в нанометровом масштабе. Четвёртое занятие проводится в форме теста по оптическим свойствам металлов и диэлектриков. Пятое занятие проводится в форме теста по гибридным металл-диэлектрическим системам и наноструктурам. Шестое занятие проводится в форме семинара по гибридным металл-диэлектрическим системам и наноструктурам. Седьмое занятие проводится в форме теста по плазмон-фотонным кристаллам и метаматериалам. Восьмое занятие проводится в форме теста по гибридным системам с квантовыми точками и молекулами. Девятое занятие проводится в форме семинара по гибридным системам с квантовы-

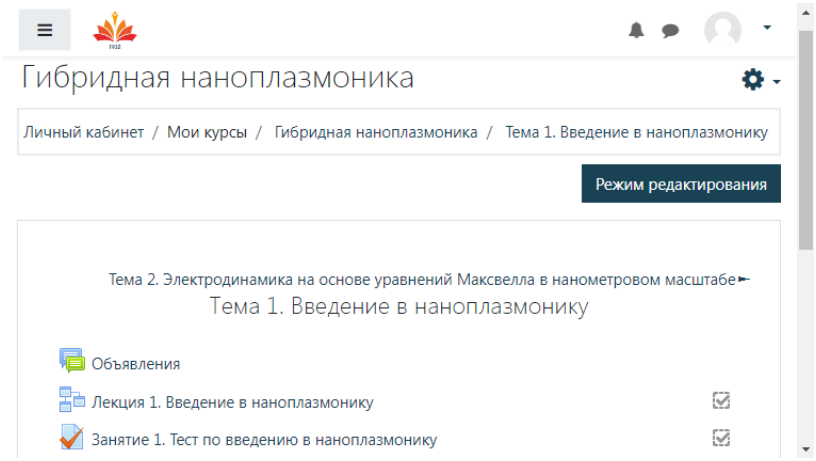


Рис. 6. Страница элементов первой темы дистанционного курса по гибридной нанoплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

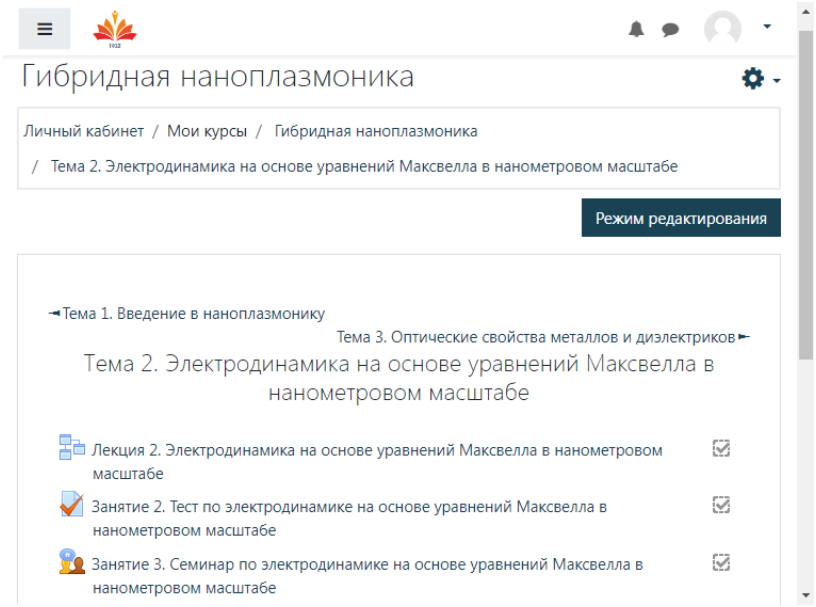


Рис. 7. Страница элементов второй темы дистанционного курса по гибридной нанoплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

ми точками и молекулами. Десятое занятие проводится в форме теста по термооптическим эффектам в гибридных наноструктурах. Одиннадцатое занятие проводится в форме первой контрольной работы. Двенадцатое занятие проводится в форме теста по аналитическим методам на основе электрического дипольного приближения и теории Ми. Тринадцатое занятие проводится в форме семинара по аналитическим методам на основе электрического дипольного приближения и теории Ми. Четырнадцатое занятие проводится в форме теста по численным методам моделирования. Пятнадцатое занятие проводится в форме теста по методу матрицы плотности и квантово-механическое моделирование гибридных систем. Шестнадцатое занятие проводится в форме семинара по методу матрицы плотности и квантово-механическое моделирование гибридных систем. Семнадцатое занятие проводится в форме теста по статистическим методам и анализу данных в Python и R. Восемнадцатое занятие проводится в форме теста по фотонике и лазерам на основе гибридных лазерных структур. Девятнадцатое занятие проводится

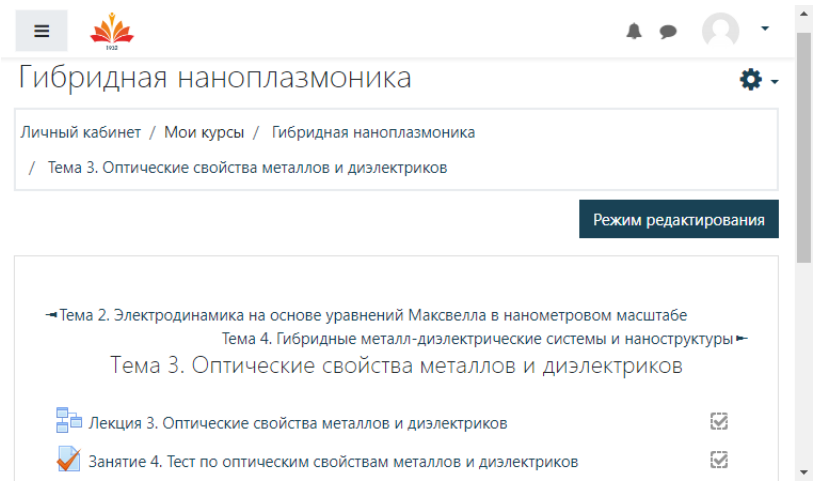


Рис. 8. Страница элементов третьей темы дистанционного курса по гибридной наноплазмонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

в форме семинара по фотонике и лазерам на основе гибридных лазерных структур. Двадцатое занятие проводится в форме теста по применению в сенсорике для моделирования плазмонных сенсоров. Двадцать первое занятие проводится в форме теста по нелинейным эффектам гибридной наноплазмоники. Двадцать второе занятие проводится в форме семинара по нелинейным эффектам гибридной наноплазмоники. Двадцать третье занятие проводится в форме второй контрольной работы. Двадцать четвёртое занятие проводится в форме теста по комбинированному использованию всех инструментов (Python+R+COMSOL) для моделирования структур гибридной наноплазмоники. Двадцать пятое занятие проводится в форме итоговой работы по гибридной наноплазмонике.

Процесс разработки дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE продемонстрировал высокую эффективность интеграции теоретических знаний и практико-ориентированных компетенций, что особенно актуально для сложных междисциплинарных областей, таких как наномасштабная электродинамика и квантово-плазмонные системы. В результате курса слушатели получают не только глубокое понимание физических принципов и математических основ наноплазмоники, но и формируют навыки численного моделирования, что является ключевым требованием современных исследовательских проектов в области нанофотоники и сенсорики. Особое внимание к модульной структуре дистанционного курса позволило обеспечить логическую последовательность изучения тем, начиная с фундаментальных принципов уравнений Максвелла и оптических свойств материалов до специализированных разделов, таких как плазмон-фотонные кристаллы и квантово-механическое моделирование. Такой подход гарантировал не только постепенное усложнение материала, но и постепенное наращивание практических навыков, что особенно важно для слушателей с разным уровнем подготовки. Использование платформы MOODLE в качестве основы для дистанционного обучения оказалось оптимальным решением, так как она предоставляет удобные инструменты для организации интерактивных форм работы: от автоматической проверки тестовых заданий до обсуждений на форумах и совместного решения проектных задач. Это позволило снизить нагрузку на преподавателей при сохранении высокого уровня обратной связи с учениками, а также обеспечить гибкость в настройке учебного процесса под индивидуальные особенности слушателей.

Важнейшим результатом педагогического проектирования дистанционного курса стало внедрение практико-ориентированного подхода, где теоретические концепции сра-

зу же применяются в реальных задачах с использованием специализированного программного обеспечения, такого как COMSOL и Lumerical. Такой подход не только укрепил понимание ключевых принципов, но и развил у слушателей уверенность в использовании инструментов численного моделирования, что является критически важным для их дальнейшей профессиональной деятельности в научных и инженерных областях.

Одним из ключевых достижений стало успешное сочетание различных методологий оценки знаний: тестирования, практических работ, лабораторных заданий и проектных исследований. Это позволило получить объективную картину уровня подготовки слушателей, выявить слабые места в их знаниях и оперативно корректировать процесс обучения. Комплексный подход к оцениванию также способствовал повышению мотивации слушателей, так как они видели практическую значимость изучаемого материала и понимали, как их успехи могут быть применены на практике.

Ещё одним значимым итогом стало создание среды для коллективного обучения и взаимодействия, что особенно важно в дистанционном формате. Форумы, вебинары и групповые проекты не только улучшили вовлечённость слушателей, но и сформировали сообщество единомышленников, способствующее обмену опытом и поддержке в сложных вопросах. Такой формат обучения способствовал не только обмену знаниями, но и развитию коммуникативных навыков, которые необходимы для успешной работы в современных научных коллективах.

Пилотное тестирование курса выявило необходимость некоторых корректировок в уровне сложности практических заданий и уточнении временных рамок для выполнения проектов, что подтвердило важность этапа тестирования в процессе разработки образовательной программы. Обратная связь от участников пилотной группы позволила не только улучшить качество учебных материалов, но и оптимизировать структуру курса, сделав его более доступным для широкой аудитории.

Подготовка преподавателей к ведению дистанционного курса также стала одним из ключевых этапов, так как от их компетенций напрямую зависели качество проведения занятий и уровень вовлечённости слушателей. Обучение работе с платформой MOODLE и методами дистанционного обучения позволило преподавателям эффективнее взаимодействовать с учениками, оперативно отвечать на их вопросы и поддерживать мотивацию на протяжении всего курса.

Важно отметить, что разработка курса потребовала междисциплинарного подхода, объединившего физику, электронику, математическое моделирование и информационные технологии. Это подчеркнуло актуальность подобных программ для подготовки специалистов нового уровня, способных работать на стыке нескольких наук. В результате слушатели не только расширяют свои академические знания, но и приобретают гибкие компетенции, необходимые для решения сложных научно-технических задач.

Разработка учебно-методических материалов с акцентом на визуализацию и интерактивность позволила сделать сложные физические процессы более понятными для слушателей. Использование анимаций, графиков и практических симуляций повысило уровень усвоения материала и сделало обучение более интересным и эффективным, что является одним из ключевых факторов успеха дистанционного курса.

Моделирование гибридных наносистем с использованием подхода, включающего аналитические методы, численное моделирование и статистический анализ данных, позволило слушателям не только изучить современные инструменты, но и осознать их потенциал в решении актуальных задач нанотехнологий. Это подтвердило востребованность программы как для исследователей, так и для инженеров, работающих в области разработки наноэлектронных и оптоэлектронных устройств.

В целом, разработанный курс не только отвечает современным требованиям к подготовке специалистов в области наноплазмоники, но и демонстрирует возможности ди-

станционного обучения при правильной организации учебного процесса. Эффективное сочетание теории, практики и интерактивного взаимодействия делает его уникальным инструментом для профессионального роста и научного развития специалистов в этой перспективной области науки.

Заключение

Разработка дистанционного курса по гибридной наноплазмонике в университете является важным шагом в обеспечении доступности качественного образования в области фотоники и нанотехнологий. Полученные результаты свидетельствуют о несомненной пользе курса гибридной наноплазмоники для студентов университетов, обучающихся на педагогических специальностях физико-математического профиля подготовки. Дистанционное обучение гнаноплазмонике является эффективным и привлекательным для студентов университетов, что подтверждается высоким интересом к курсу гибридной наноплазмоники. Курс по гибридной наноплазмонике обладает рядом преимуществ перед другими формами обучения, такими как гибкость графика, доступность и возможность обучения в удобное время. Технологии дистанционного обучения позволяют успешно использовать их для достижения высоких результатов в изучении наноплазмоники.

Выводы по исследованию можно сформулировать следующим образом:

1. написанный обзор научных работ по гибридной наноплазмонике показал актуальность темы исследования и позволил определить структуру дистанционного курса гибридной наноплазмоники в университете,
2. разработан и внедрён в практику вузовского обучения дистанционный курс по гибридной наноплазмонике, имеющий модульную структуру и достаточное наполнение содержанием,
3. созданные интерактивные и мультимедийные материалы для дистанционного курса гибридной наноплазмоники способствуют лучшему пониманию студентами современных концепций наноплазмоники,
4. созданные задания и тесты позволяют проводить проверку знаний студентов по курсу гибридной наноплазмоники в условиях смешанного обучения или дистанционного обучения наноплазмонике.

Задачи работы решены полностью.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если применять элементы дистанционного обучения в курсе гибридной наноплазмоники, то можно построить эффективную систему подготовки, которая будет эффективной и привлекательной для аудитории, а дистанционный курс гибридной наноплазмоники имеет ряд преимуществ перед другими формами обучения, подтверждена полностью.

Список использованных источников

1. Michel Ann-Katrin U. Subwavelength hybrid plasmonic structures for nonlinear nanophotonics // Light: science and applications. — 2021. — Feb. — Vol. 10, no. 1. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/s41377-021-00479-9.

2. Hybrid nanophotonics / S. I. Lepeshov [et al.] // Physics-Uspekhi. — 2019. — Feb. — Vol. 61, no. 11. — P. 1035–1050. — URL: http://dx.doi.org/10.3367/ufne.2017.12.038275.

3. Enhancing plasmonic-photonic hybrid cavity modes by coupling of individual plasmonic nanoparticles / Shuaidi Zhang [et al.] // The journal of physical chemistry C. — 2019. —

Sept. — Vol. 123, no. 39. — P. 24255–24262. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b07027.

4. Metal/semiconductor hybrid nanostructures for plasmon-enhanced applications / Ruibin Jiang [et al.] // Advanced materials. — 2014. — Apr. — Vol. 26, no. 31. — P. 5274–5309. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/adma.201400203.

5. Kim Sanggon, Yan Ruoxue. Recent developments in photonic, plasmonic and hybrid nanowire waveguides // Journal of materials chemistry C. — 2018. — Vol. 6, no. 44. — P. 11795–11816. — URL: http://dx.doi.org/10.1039/c8tc02981d.

6. Nanoassembled plasmonic-photonic hybrid cavity for tailored light-matter coupling / Michael Barth [et al.] // Nano letters. — 2010. — Feb. — Vol. 10, no. 3. — P. 891–895. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/nl903555u.

7. Hybrid photonic-plasmonic crystal nanocavities / Xiaodong Yang [et al.] // ACS Nano. — 2011. — Mar. — Vol. 5, no. 4. — P. 2831–2838. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/nn1033482.

8. Linic Suljo, Chavez Steven, Elias Rachel. Flow and extraction of energy and charge carriers in hybrid plasmonic nanostructures // Nature materials. — 2021. — Jan. — Vol. 20, no. 7. — P. 916–924. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/s41563-020-00858-4.

Сведения об авторах:

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

E-mail: lera.zhyravleva73510@mail.ru

ORCID iD 0009-0008-1747-652X

Web of Science ResearcherID JRW-6156-2023

Original article
PACS 01.40.Di
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Development of a distance learning course on hybrid nanoplasmonics

V. D. Odnakova

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432000, Ulyanovsk, Russia

Submitted July 1, 2026
Resubmitted July 3, 2026
Published September 30, 2026

Abstract. The results of the development of a distance learning course on hybrid nanoplasmonics in the learning management system MOODLE are presented. Hybrid nanoplasmonics is a cutting-edge interdisciplinary field situated at the intersection of nanophotonics, materials science, and quantum technologies. The aim of the study is to develop a distance learning course on hybrid nanoplasmonics that will contribute to improving students' knowledge of hybrid nanoplasmonics, the quality of education, and the development of university students' skills in the field of nanoplasmonics. Developing such a course within the Moodle learning management system is particularly relevant in the context of the digital transformation of education.

Keywords: course, distance learning course, nanoplasmonics, hybrid nanoplasmonics, photonics, nanophotonics, metallic nanostructure, graphene, plasmon resonance, nanostructure

References

1. Michel Ann-Katrin U. Subwavelength hybrid plasmonic structures for nonlinear nanophotonics // Light: science and applications. — 2021. — Feb. — Vol. 10, no. 1. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/s41377-021-00479-9.

2. Enhancing plasmonic-photonic hybrid cavity modes by coupling of individual plasmonic nanoparticles / Shuaidi Zhang [et al.] // The journal of physical chemistry C. — 2019. — Sept. — Vol. 123, no. 39. — P. 24255–24262. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b07027.

3. Hybrid nanophotonics / S. I. Lepeshov [et al.] // Physics-Uspekhi. — 2019. — Feb. — Vol. 61, no. 11. — P. 1035–1050. — URL: http://dx.doi.org/10.3367/ufne.2017.12.038275.

4. Kim Sanggon, Yan Ruoxue. Recent developments in photonic, plasmonic and hybrid nanowire waveguides // Journal of materials chemistry C. — 2018. — Vol. 6, no. 44. — P. 11795–11816. — URL: http://dx.doi.org/10.1039/c8tc02981d.

5. Nanoassembled plasmonic-photonic hybrid cavity for tailored light-matter coupling / Michael Barth [et al.] // Nano letters. — 2010. — Feb. — Vol. 10, no. 3. — P. 891–895. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/nl903555u.

6. Hybrid photonic-plasmonic crystal nanocavities / Xiaodong Yang [et al.] // ACS Nano. — 2011. — Mar. — Vol. 5, no. 4. — P. 2831–2838. — URL: http://dx.doi.org/10.1021/nn1033482.

7. Metal/semiconductor hybrid nanostructures for plasmon-enhanced applications / Ruibin Jiang [et al.] // Advanced materials. — 2014. — Apr. — Vol. 26, no. 31. — P. 5274–5309. — URL: http://dx.doi.org/10.1002/adma.201400203.

8. Linic Suljo, Chavez Steven, Elias Rachel. Flow and extraction of energy and charge carriers in hybrid plasmonic nanostructures // Nature materials. — 2021. — Jan. — Vol. 20, no. 7. — P. 916–924. — URL: http://dx.doi.org/10.1038/s41563-020-00858-4.

Information about authors:

Valeriya Dmitrievna Odnakova — 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: lera.zhyravleva73510@mail.ru

ORCID iD 0009-0008-1747-652X

Web of Science ResearcherID JRW-6156-2023