

УДК 372.853  
ББК 74.489  
ГРНТИ 14.35.09  
ВАК 13.00.02

## Разработка дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE

Е. Е. Волкова <sup>1</sup>

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

Поступила в редакцию 28 сентября 2021 года  
После переработки 18 октября 2021 года  
Опубликована 10 декабря 2021 года

---

**Аннотация.** Рассматриваются результаты разработки дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. Проведено описание основных функциональных возможностей дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением MOODLE. Обсуждаются возможности модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике. Дистанционный курс по современной наноплазмонике посвящён изучению физических основ теории наноплазменных процессов.

**Ключевые слова:** наноплазмоника, плазмон, поляритон, дистанционный курс, система управления обучением, элемент курса, элемент контроля знаний

PACS: 01.40.gf

---

## Введение

Рассматриваются результаты разработки дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. Проведено описание основных функциональных возможностей дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением MOODLE. Обсуждаются возможности модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике.

Актуальность работы обусловлена необходимостью улучшения наглядности материала в курсе наноплазмоники. Специфика дистанционного курса не предполагает наглядных экспериментов, иллюстрирующих физические процессы, поэтому для лучшего усвоения материала возможно использование программных средств, упрощающих понимание явлений наноплазмоники.

Целью исследования является описание процесса разработки дистанционного курса «Современная наноплазмоника».

Задача исследования состоит в разработке модульной структуры и материалов дистанционного курса «Современная наноплазмоника» в системе управления обучением MOODLE.

---

<sup>1</sup>E-mail: liza\_volkova1999@mail.ru

Объектом исследования является дистанционный курс «Современная наноплазмоника». Предметом исследования является процесс создания информационных и контролируемых элементов дистанционного курса «Современная наноплазмоника» в системе управления обучением MOODLE.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать дистанционный курс «Современная наноплазмоника» в системе MOODLE, то можно облегчить труд преподавателя в процессе преподавания учебной дисциплины «Современная наноплазмоника».

Дистанционный курс по современной наноплазмонике посвящён изучению физических основ теории наноплазмонных процессов.

## Обзор работ по свойствам плазмонных материалов

Возбуждаемые оптическими методами поверхностные плазмоны стали использоваться в процессе зондирования для анализа металлических поверхностей [1, 2]. Чувствительность метода основана на том факте, что электромагнитная волна, связанная с поверхностными плазменными колебаниями, ограничивается узкой областью, близкой к металлической поверхности [3]. Поверхностные плазмоны требуют особых условий возбуждения. Например, в конфигурации Кретчмана, световой луч испытывает полное внутреннее отражение в призме, на которую осаждают металлическую плёнку, и запускает генерацию поверхностных плазмонов [3].

В металлической плёнке с отверстиями поверхностные плазмоны могут быть возбуждены при нормальном падении светового пучка [4].

Для получения металлического слоя, вмещающего множество отверстий с субволновым размером, можно исследовать поверхностные плазмоны просто измерением интенсивности прошедшего света. Такая простая конфигурация является гораздо более практичной в контексте использования в оптоэлектронных чипах, и она широко изучается с пионерской работы Эббесена и других авторов в 1998 году [4].

Разработка эффективных и перестраиваемых (по энергии фотонов и направленности поляризации) наноразмерных излучателей света является главной задачей для нанофотоники. Поле плазмонных метаматериалов унаследовало бесценное наследие от атомной физики для интерпретации нетривиальных спектральных форм линий.

Свойства локализованных плазмонов критически зависят от формы наночастиц [5], что позволяет настраивать систему их резонансов на эффективное взаимодействие со светом или элементарными квантовыми системами.

В большинстве практически значимых случаев важной является возможность управления оптическими свойствами плазмонных структур, например, их коэффициентами отражения и прохождения. К настоящему времени предложено значительное количество методов такого активного управления посредством внешнего воздействия. В качестве внешнего воздействия применяются электрическое или магнитное поля, нагрев материалов, акустические волны и др. Зависимость оптических свойств плазмонных структур от внешнего воздействия может использоваться в различных сенсорах: магнитного поля и акустических колебаний.

Из-за способности концентрировать свет в субволновых нанобъектах, поверхностные плазмон-поляритоны представляют особый интерес для нелинейной оптики, где плотности мощности снижают нелинейные пороги. Искусственно структурированные метаматериалы, содержащие плазмонные компоненты предлагают перспективный путь к повышению нелинейности оптических процессов.

В большинстве исследованных до сих пор нелинейных плазмонных конфигурациях, предполагается, что диэлектрическую составляющую обеспечивает доминирующая нелинейная реакция системы. Однако металлы, как известно, имеют относительно боль-

шие нелинейные восприимчивости, что делает поверхностные плазмон-поляритоны внутренне нелинейными возбуждениями. Нелинейный отклик металлов является сложным откликом на излучение с разным механизмом, зависящим от временного масштаба, по которому исследуется реакция системы на излучение.

В [6] показано, что оптический коэффициент пропускания через периодически модулированную металлическую плёнку сильно усиливается, когда падающая оптическая волна находится в резонансе с поверхностными плазмон-поляритонами в плёнке. Аналитические уравнения описывающие резонансный коэффициент пропускания, коэффициент отражения и поглощение. Явная зависимость коэффициента пропускания, коэффициента отражения и коэффициента поглощения от диэлектрической проницаемости пленки, её толщины и модуляции получается и анализируется. Разработанный подход включает нелинейные эффекты и описывает случай когда свойства плёнки зависят от интенсивности падающего света. Средство для стимулирования и контроля предлагается и обсуждается с учётом необычного оптического коэффициента пропускания с самим светом. Предполагается, что оптическая бистабильность может возникать в модулированной металлической плёнке.

Отрицательный показатель преломления может быть реализован для поверхностных поляритонов при наличии переходных слоёв [7].

Недавно прогресс в области наноплазмоники [8–10] дал возможность контролировать поток электромагнитного излучения. Используя свойство поверхностных плазмон-поляритонов, существующих на металлических поверхностях, было достигнуто субволновое регулирование электромагнитных волн, что привело к перспективным применениям, таким как наномасштабные плазмонные кристаллы [8] и нанолазеры [10].

В последнее время появились экспериментальные работы, связанные с существованием цилиндрических поверхностных плазмон-поляритонов, хотя теоретические исследования проведены достаточно давно [11, 12]. В [13] экспериментально реализован плазмонный резонатор на нанопроволоке, в [14] экспериментально изучали плазмонные моды в наноцилиндрах из золота, в [15] продемонстрирована возможность создания метаматериала с отрицательным преломлением в видимой области спектра как результат плазмонного резонанса в парах наноцилиндров. В то же время отрицательный показатель преломления может быть реализован для поверхностных поляритонов при наличии переходных слоёв [7].

Действующие в системе оптические силы могут быть значительно усилены, если использовать поверхностные плазмонные поляритоны на границах металл-диэлектрик [16, 17].

## **Результаты разработки элементов дистанционного курса по современной наноплазмонике**

В работе рассматривается процесс создания дистанционного курса по современной наноплазмонике, которая основана на системе управления обучением MOODLE. Применение формата MOODLE на проблемно-ориентированной основе обеспечивает прозрачность результатов, включая тестирование в формате активного, операционального, рефлексивного обучения.

Электромагнитные колебания, известные как поверхностные плазмоны, обладают многими уникальными свойствами, которые полезны для широкого спектра применений в биологии, химии, физике и оптике. Область наноплазмоники возникла для понимания поведения поверхностных плазмонов и для разработки приложений в таких областях, как катализ, визуализация, фотоэлектрические и зондирования. В частности, для использования плазмонных резонансов были разработаны металлические нанопластины и узорчатые металлические интерфейсы. Целью данного курса является предоставление

базовых знаний для понимания и применения принципов наноплазмоники. Курс будет стремиться быть доступным для студентов из разных научных и инженерных кругов.

С учётом существующих тенденций перспективным в области фундаментального образования является организация учебного процесса с использованием такой обучающей среды, как MOODLE. Эта информационная среда позволяет доставлять и репрезентировать учебный контент, содержащий и разнообразные контрольно-измерительные материалы по физике, в места реального расположения обучаемых. Их включение в образовательный процесс позволяет модернизировать одну из основных тенденций — смену формата «система образования» на «сферу образования».

Основной подход к изучению современной наноплазмоники с использованием информационных технологий заключается в увеличении визуально воспринимаемой студентом информации посредством использования электронного образовательного ресурса в процессе изучения современной наноплазмоники в университете.

Дистанционный курс по современной наноплазмонике посвящён изучению физических основ теории наноплазмонных процессов.

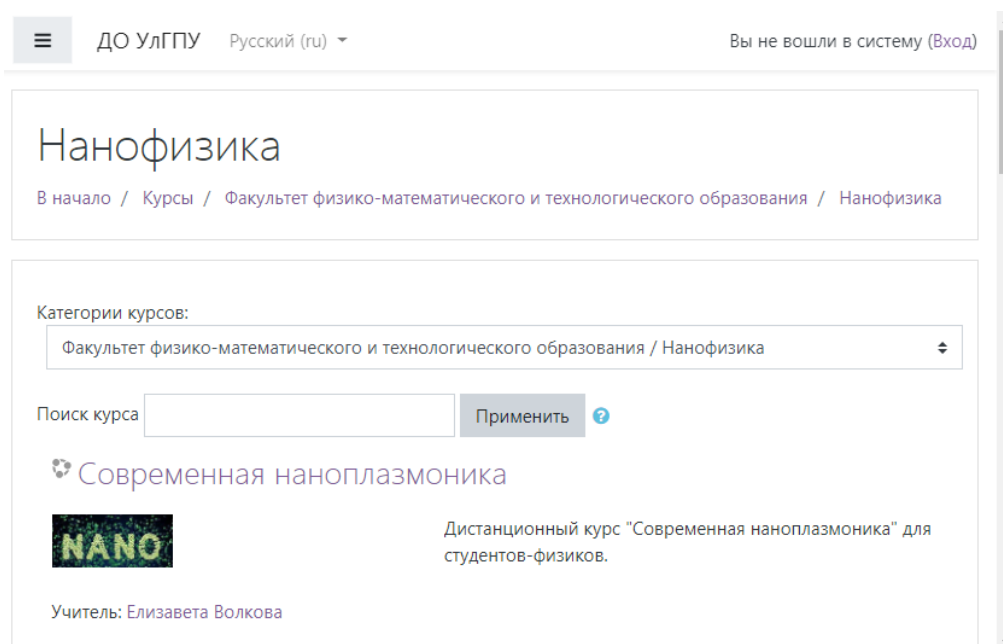


Рис. 1. Входная страница дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение входной страницы дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение первой части структуры модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

Дистанционный курс по современной наноплазмонике представляет собой совокупность гипертекстовых страниц, в которых заключен необходимый теоретический материал, справочные таблицы, рисунки, справочные материалы по современной наноплазмонике, тесты и элементы навигации средствами системы управления обучением MOODLE. Для более глубокого изучения тем можно воспользоваться источниками, приведёнными в списке рекомендуемой литературы, и гиперссылками на внутренние и внешние источники информации в глобальной сети Интернет. По основным терминам и определениям дистанционный курс по современной наноплазмонике содержит

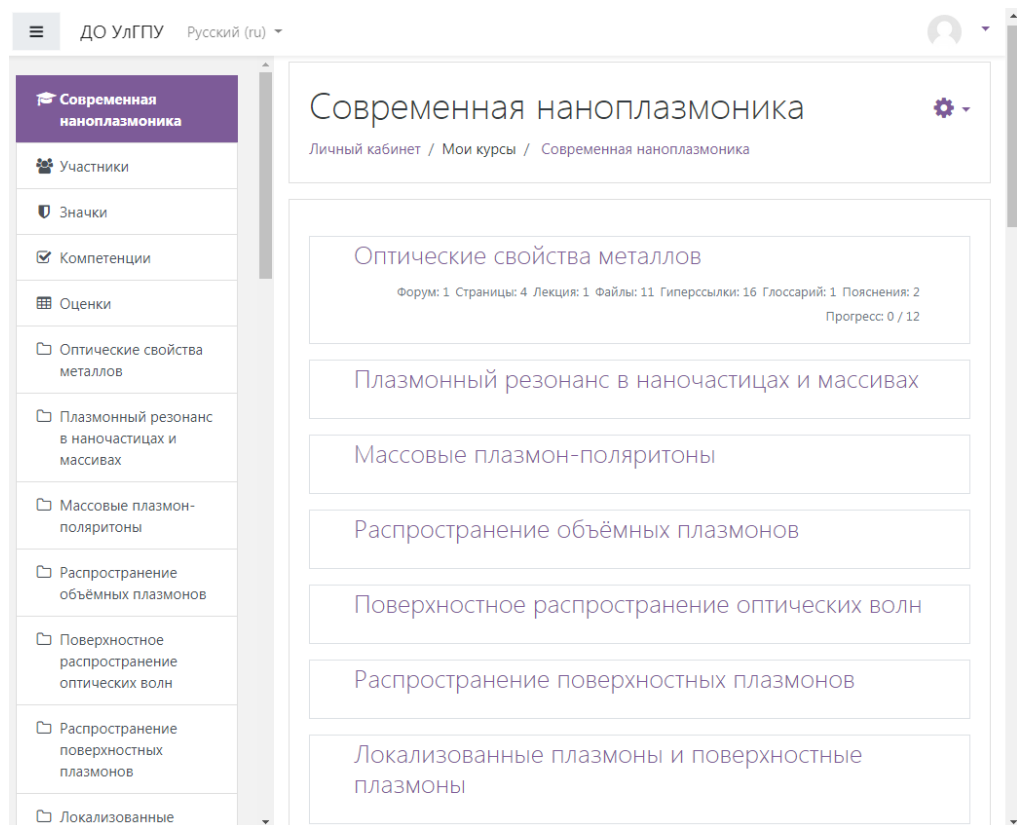


Рис. 2. Первая часть модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

гиперссылки на статьи глоссария. Весь теоретический материал по современной наноплазмонике можно разделить на темы, а каждая из тем, в свою очередь, делится на модули. В свою очередь модули могут подразделяться на подтемы.

На рис. 3 приведено изображение второй части структуры модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике, созданного в системе управления обучением на платформе MOODLE.

На рис. 4 приведено изображение первой части элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 5 приведено изображение второй части элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение части элементов темы по локализованным плазмонам в наноструктурах в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

Изображение лекции по локализованным плазмонам на границе раздела с наноструктурной средой в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE показано на рис. 7.

В дистанционном курсе по современной наноплазмонике приведены примеры решения задач, задачи с ответами для самостоятельного решения и задачи без ответов для проведения проверочных и контрольных работ. Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по современной наноплазмонике включает элементы, содержащие следующие учебные элементы: необходимый теоретический материал, дидактические материалы к занятиям, ряд заданий для самостоятельной работы, гиперссылки на рекомендуемые учебные издания и учебники по физике, гиперссылки на внешние электронные источники информации. Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по современной наноплазмонике включает элементы, содержащие следующие контролируемые элементы:

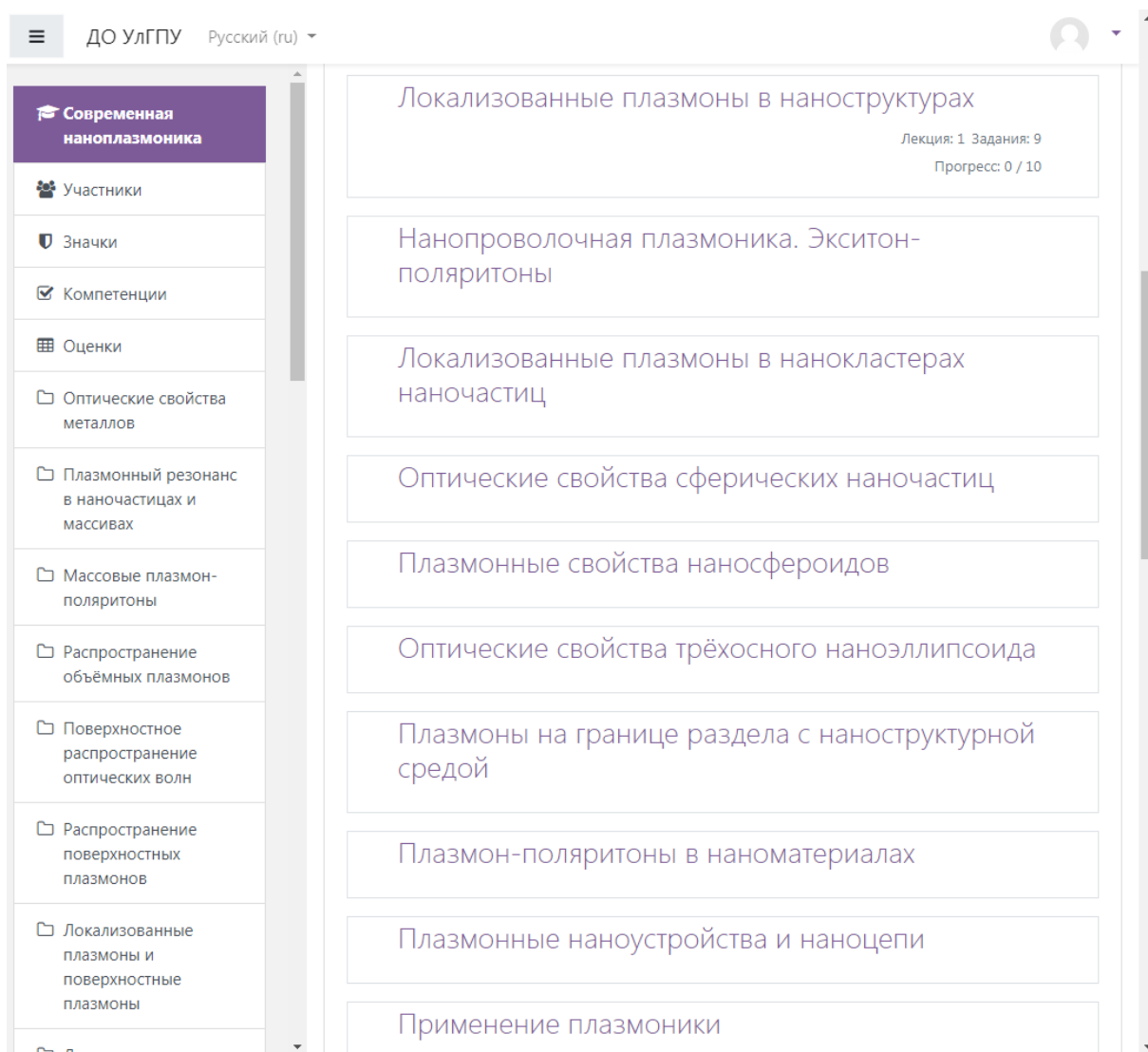


Рис. 3. Вторая часть модульной структуры дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

тестовые задания для организации промежуточного и итогового контроля по современной наноплазмонике.

Рассмотрим результаты разработки элементов контроля в дистанционном курсе по современной наноплазмонике в системе MOODLE. Под проектированием дистанционного курса по современной наноплазмонике понимают процесс разработки дистанционного курса, в котором активно используются автоматизированные методы контроля в ходе продвижения при изучении курса по современной наноплазмонике. Структура дистанционного курса по современной наноплазмонике включает в себя специальным образом сформированные модули, содержащие тематические связанные материалы и элементы контроля в виде тестов, задач и заданий. На первом этапе создания дистанционного курса производится определение целей и задач, которые необходимо реализовать в процессе проектирования курса. На втором этапе создания дистанционного курса производится разработка структуры курса в строгом соответствии с выбранной тематикой и объёмом курса по современной наноплазмонике. На третьем этапе создания дистанционного курса производится разработка содержания блоков электронного курса по модулям и темам. На четвёртом этапе создания дистанционного курса производится визуализация полученной структуры в наглядном виде для планомерного контроля наполнения различных модулей и тем курса по современной наноплазмонике.

The screenshot shows a Moodle course interface. At the top, it says 'ДО УлГПУ' and 'Русский (ru)'. The course title is 'Плазмонный резонанс в наночастицах и массивах' (Plasmon resonance in nanoparticles and arrays). The main heading is 'Оптические свойства металлов' (Optical properties of metals). A left sidebar contains a navigation menu with items like 'Современная наноплазмоника', 'Участники', 'Значки', 'Компетенции', 'Оценки', and 'Оптические свойства металлов' (which is highlighted). Below the sidebar, a list of course elements is shown, each with a checkbox on the right:

- Новостной форум
- Объём курса
- Содержание темы 1
- Вводная лекция
- Введение в нанофизику. Лекция 1.
- Введение в нанофизику. Лекция 1. (серая)
- Введение в нанофизику. Лекция 1. (pptx)
- Введение в нанофизику. Лекция 2. Многообразие наносистем
- Формулы Френеля. Амплитудные коэффициенты отражения и пропускания
- Формулы Френеля. Амплитудные коэффициенты отражения и пропускания (продолжение)
- Диэлектрическая проницаемость благородных металлов в модели Друде-Лоренца
- К вопросу об эффективных параметрах метаматериалов (документ PDF, 649.7Кбайт)
- Презентация по наноматериалам
- Презентация по наноматериалам (документ PDF, 13Мбайт)
- Моисеев С. Г., Виноградов С. В. Основы нанофизики: методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Введение в нанофизику". Ульяновск: УлГТУ, 2010. - 40 с.
- Учебно-научный фильм "Наноинженерия"
- Глоссарий по нанотехнологиям

Рис. 4. Первая часть элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

ке. На пятом этапе создания дистанционного курса производится поиск программного обеспечения для разработки дистанционного курса и его создание. Дизайн дистанционного курса выполнен средствами системы управления обучением MOODLE. На шестом этапе создания дистанционного курса производится разработка методических рекомендаций для пользователя ресурса. На седьмом этапе создания дистанционного курса производится наполнение модулей элементами и отладка элементов. На восьмом этапе создания дистанционного курса производится разработка банка тестовых вопросов и заданий по курсу современной наноплазмоники, компоновка тестов по темам и модулям. На девятом этапе создания дистанционного курса производится апробация курса в учебном процессе. На десятом этапе создания дистанционного курса по современной наноплазмонике производится корректирование содержания и выявление недостатков дистанционного курса.

Использование дистанционных курсов решает проблему систематизации теоретического материала, задач и заданий, а также обеспечивает планомерную выдачу заданий, последовательный контроль и даёт рациональный подход в преподавании современной наноплазмоники. Применение электронных образовательных ресурсов по современной наноплазмонике обеспечивает обучение студентов университета в удобном темпе и выбранном уровне материала.

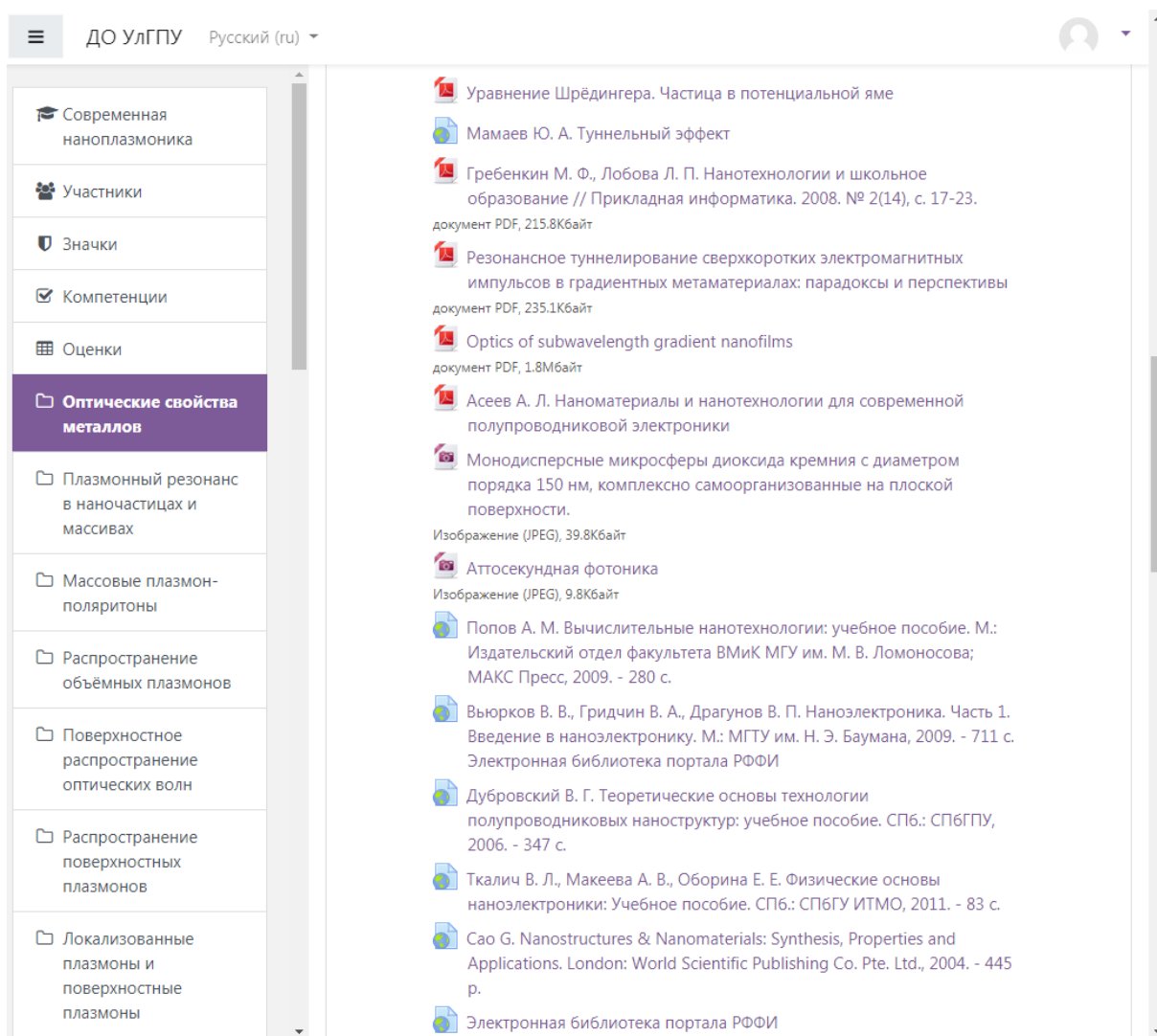


Рис. 5. Вторая часть элементов первой темы дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

Дистанционные курсы позволяют успешно решать задачи построения индивидуальных образовательных траекторий для обучающихся. При использовании дистанционных курсов, онлайн-курсов, электронных курсов и электронных образовательных ресурсов следует выделить возможности, связанные с электронной природой ресурса, которая позволяет проводить электронное обучение и мобильное обучение с помощью привычных для обучающихся информационно-коммуникационных технологий.

Рассмотрены возможности элементов дистанционного курса по современной наноплазмонике. По итогам сделанного описания дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE можно сделать вывод о наличии элементов для эффективного контроля знаний по современной наноплазмонике в составе дистанционного курса.

## Заключение

Разработан дистанционный курс по современной наноплазмонике, который готов к началу использования в учебном процессе в педагогического университета по специальностям физико-математического профиля подготовки. Дистанционный курс по современной наноплазмонике способствует интенсификации учебного процесса и более осмысленному изучению материала, приобретению навыков самоорганизации и превра-



ДО УлГПУ Русский (ru)

Современная наноплазмоника

Личный кабинет / Мои курсы / Современная наноплазмоника / Локализованные плазмоны в наноструктурах

← Локализованные плазмоны и поверхностные плазмоны  
Нанопроволочная плазмоника. Экситон-поляритоны →

### Локализованные плазмоны в наноструктурах

- Лекция 1. Локализация плазмонов на границе раздела с наноструктурной средой
- Задача 1001.
- Задача 1002.
- Задача 1003.
- Задача 1004.
- Вопрос 2101.
- Вопрос 2102.
- Вопрос 2103.
- Вопрос 2104.
- Вопрос 2105.

← Локализованные плазмоны и поверхностные плазмоны  
Нанопроволочная плазмоника. Экситон-поляритоны →

Перейти на...

Рис. 6. Элементы темы по локализованным плазмонам в наноструктурах в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

щению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучающихся и интереса к предмету. Созданный в работе дистанционный курс по современной наноплазмонике позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по современной наноплазмонике.

В работе проведено всестороннее исследование дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE. В работе описан результат разработки дистанционного курса «Современная наноплазмоника», который готов к началу использования в учебном процессе в университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по наноплазмонике. Дистанционный курс «Современная наноплазмоника», созданный в системе управления обучением MOODLE, способствует систематизации хранения учебного материала по теоретической наноплазмонике. При изучении курса «Современная наноплазмоника» система дистанционного обучения MOODLE привносит то, что кроме основного курса по изучаемой дисциплине, используется материал для подготовки в домашних условиях, который позволяет расширить учебное содержание, а также провести дифференциацию учебного материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами студентов, изучающих курс. В качестве подтверждения гипотезы исследования спроектирован дистанционный курс «Современная наноплазмоника», позволяющий проводить обучение теоретическим

Современная наноплазмоника

Личный кабинет / Мои курсы / Современная наноплазмоника / Локализованные плазмоны в наноструктурах / Лекция 1. Локализация плазмонов на границе раздела с наноструктурной средой / Просмотр

Лекция 1. Локализация плазмонов на границе раздела с наноструктурной средой

Просмотр Редактировать Отчеты Оценить эссе

**Опорный концепт**  
**Плазмон на границе раздела с анизотропной средой**

- 1) Плазмон-квазичастица, отвечающая квантованию плазменных колебаний, которые представляют собой коллективные колебания свободного электронного газа.
- 2) Анизотропная среда-среды, макроскопические свойства которой различны в различных направлениях, в противоположность среде изотропной, где они не зависят от направления.

3) **Тензор Проницаемостей**

**Диэлектрическая**

$$\vec{\epsilon}(\omega) = \begin{pmatrix} \epsilon(\omega) & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon(\omega) \end{pmatrix}$$

Для изотропной среды

$$\vec{\mu}(\omega) = \begin{pmatrix} \mu(\omega) & 0 & 0 \\ 0 & \mu(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & \mu(\omega) \end{pmatrix}$$

**Магнитная**

Для анизотропной среды

$$\vec{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_x(\omega) & 0 & 0 \\ 0 & \mu_y(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z(\omega) \end{pmatrix}$$

Тензор-объект линейной алгебры, линейно преобразующий элементы одного линейного пространства в элементы другого.

Рис. 7. Лекция по локализованным плазмонам на границе раздела с наноструктурной средой в составе дистанционного курса по современной наноплазмонике в системе управления обучением MOODLE.

основам наноплазмоники по традиционной, смешанной и дистанционной формам обучения с применением компьютеров.

Дистанционный курс «Современная наноплазмоника», созданный в системе управления обучением MOODLE, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя в процессе преподавания учебных дисциплин физико-математической направленности. Созданный дистанционный курс «Современная наноплазмоника» позволит планировать, организовывать и проводить изучение теоретического материала курса по наноплазмонике в дистанционной или смешанной форме обучения. Разработанный курс «Современная наноплазмоника» может занять особое место среди дистанционных курсов по физико-математической тематике, предназначенных для студентов физико-математических профилей подготовки университетов.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать дистанционный курс «Современная наноплазмоника» в системе управления обучением MOODLE, то можно облегчить труд преподавателя в процессе преподавания учебной дисциплины, подтверждена полностью.

Использование дистанционного курса по современной наноплазмонике способствует интенсификации учебного процесса и более осмысленному изучению материала, приобретению навыков самоорганизации и превращению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучающихся и интереса к предмету. Созданный в работе дистанционный курс позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по современной наноплазмонике.

**Список использованных источников**

1. Eagen C. F., Weber W. H. Modulated surface-plasmon resonance for adsorption studies // *Phys. Rev. B.* — 1979. — may. — Vol. 19, no. 10. — P. 5068–5082. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.19.5068>.
2. Herminghaus S., Leiderer P. Nanosecond time-resolved study of pulsed laser ablation in the monolayer regime // *Appl. Phys. Lett.* — 1991. — Vol. 58, no. 4. — P. 352. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.104631>.
3. Raether H. Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings. Springer tracts in modern physics. — New York : Springer-Verlag, 1988. — 136 p. — ISBN: 3540173633.
4. Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays / T. W. Ebbesen [et al.] // *Nature.* — 1998. — feb. — Vol. 391, no. 6668. — P. 667–669. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/35570>.
5. Metal-enhanced fluorescence of colloidal nanocrystals with nanoscale control / P. P. Pompa [et al.] // *Nature Nanotech.* — 2006. — nov. — Vol. 1, no. 2. — P. 126–130. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2006.93>.
6. Dykhne A. M., Sarychev Andrey K., Shalaev Vladimir M. Resonant transmittance through metal films with fabricated and light-induced modulation // *Physical Review B.* — 2003. — may. — Vol. 67, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.67.195402>.
7. Agranovich V. M., Mills D. L. Surface polaritons: electromagnetic waves at surfaces and interfaces. — North-Holland, Amsterdam : Elsevier Science Ltd, 1982. — 734 p. — ISBN: 978-0444861658.
8. Ozbay E. Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions // *Science.* — 2006. — jan. — Vol. 311, no. 5758. — P. 189–193. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1114849>.
9. Maier S. A. Plasmonics: fundamentals and applications. — Berlin : Springer US, 2007. — P. 224. — URL: <https://doi.org/10.1007/0-387-37825-1>.
10. Plasmon lasers at deep subwavelength scale / R. F. Oulton [et al.] // *Nature.* — 2009. — aug. — Vol. 461, no. 7264. — P. 629–632. — URL: <https://doi.org/10.1038/nature08364>.
11. Ashley J. C., Emerson L. C. Dispersion relations for non-radiative surface plasmons on cylinders // *Surface Science.* — 1974. — feb. — Vol. 41, no. 2. — P. 615–618. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0039-6028\(74\)90080-6](http://dx.doi.org/10.1016/0039-6028(74)90080-6).
12. Pfeiffer C. A., Economou E. N., Ngai K. L. Surface polaritons in a circularly cylindrical interface: Surface plasmons // *Phys. Rev. B.* — 1974. — oct. — Vol. 10, no. 8. — P. 3038–3051. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.10.3038>.
13. Silver nanowires as surface plasmon resonators / H. Ditlbacher [et al.] // *Phys. Rev. Lett.* — 2005. — dec. — Vol. 95, no. 25. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.257403>.

14. Okamoto H., Imura K. Near-field optical imaging of localized plasmon resonances in metal nanoparticles // *Molecular Nano Dynamics*. — Wiley-Blackwell, 2009. — P. 39–54. — URL: <http://dx.doi.org/10.1002/9783527627820.ch3>.
15. Negative index of refraction in optical metamaterials / V. M. Shalaev [et al.] // *Optics Letters*. — 2005. — dec. — Vol. 30, no. 24. — P. 3356. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OL.30.003356>.
16. Surface Plasmon Radiation Forces / G. Volpe [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2006. — jun. — Vol. 96, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.96.238101>.
17. Quidant R., Girard C. Surface-plasmon-based optical manipulation // *Laser & Photonics Review*. — 2008. — apr. — Vol. 2, no. 1-2. — P. 47–57. — URL: <https://doi.org/10.1002/lpor.200710038>.

#### **Сведения об авторах:**

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

E-mail: [liza\\_volkova1999@mail.ru](mailto:liza_volkova1999@mail.ru)

ORCID iD  0000-0003-2849-7090

Web of Science ResearcherID  AAZ-9027-2020

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

E. E. Volkova 

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

Submitted September 28, 2021

Resubmitted October 18, 2021

Published December 10, 2021

---

**Abstract.** The results of the development of a distance course on modern nanoplasmonics in the learning management system MOODLE are considered. The description of the main functionality of the distance course on modern nanoplasmonics, created in the learning management system MOODLE, is carried out. The possibilities of the modular structure of the distance course on modern nanoplasmonics are discussed. Distance course on modern nanoplasmonics is devoted to the study of the physical foundations of the theory of nanoplasmonic processes.

**Keywords:** nanoplasmonics, plasmon, polariton, distance course, learning management system, course element, knowledge control element

PACS: 01.40.gf

---

## References


1. Eagen C. F., Weber W. H. Modulated surface-plasmon resonance for adsorption studies // *Phys. Rev. B.* — 1979. — may. — Vol. 19, no. 10. — P. 5068–5082. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.19.5068>.
2. Herminghaus S., Leiderer P. Nanosecond time-resolved study of pulsed laser ablation in the monolayer regime // *Appl. Phys. Lett.* — 1991. — Vol. 58, no. 4. — P. 352. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.104631>.
3. Raether H. Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings. Springer tracts in modern physics. — New York : Springer-Verlag, 1988. — 136 p. — ISBN: 3540173633.
4. Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays / T. W. Ebbesen [et al.] // *Nature.* — 1998. — feb. — Vol. 391, no. 6668. — P. 667–669. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/35570>.
5. Metal-enhanced fluorescence of colloidal nanocrystals with nanoscale control / P. P. Pompa [et al.] // *Nature Nanotech.* — 2006. — nov. — Vol. 1, no. 2. — P. 126–130. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2006.93>.
6. Dykhne A. M., Sarychev Andrey K., Shalaev Vladimir M. Resonant transmittance through metal films with fabricated and light-induced modulation // *Physical Review B.* — 2003. — may. — Vol. 67, no. 19. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.67.195402>.
7. Agranovich V. M., Mills D. L. Surface polaritons: electromagnetic waves at surfaces and interfaces. — North-Holland, Amsterdam : Elsevier Science Ltd, 1982. — 734 p. — ISBN: 978-0444861658.


8. Ozbay E. Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions // *Science*. — 2006. — jan. — Vol. 311, no. 5758. — P. 189–193. — URL: <https://doi.org/10.1126/science.1114849>.
9. Maier S. A. Plasmonics: fundamentals and applications. — Berlin : Springer US, 2007. — P. 224. — URL: <https://doi.org/10.1007/0-387-37825-1>.
10. Plasmon lasers at deep subwavelength scale / R. F. Oulton [et al.] // *Nature*. — 2009. — aug. — Vol. 461, no. 7264. — P. 629–632. — URL: <https://doi.org/10.1038/nature08364>.
11. Ashley J. C., Emerson L. C. Dispersion relations for non-radiative surface plasmons on cylinders // *Surface Science*. — 1974. — feb. — Vol. 41, no. 2. — P. 615–618. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0039-6028\(74\)90080-6](http://dx.doi.org/10.1016/0039-6028(74)90080-6).
12. Pfeiffer C. A., Economou E. N., Ngai K. L. Surface polaritons in a circularly cylindrical interface: Surface plasmons // *Phys. Rev. B*. — 1974. — oct. — Vol. 10, no. 8. — P. 3038–3051. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.10.3038>.
13. Silver nanowires as surface plasmon resonators / H. Ditlbacher [et al.] // *Phys. Rev. Lett.* — 2005. — dec. — Vol. 95, no. 25. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.257403>.
14. Okamoto H., Imura K. Near-field optical imaging of localized plasmon resonances in metal nanoparticles // *Molecular Nano Dynamics*. — Wiley-Blackwell, 2009. — P. 39–54. — URL: <http://dx.doi.org/10.1002/9783527627820.ch3>.
15. Negative index of refraction in optical metamaterials / V. M. Shalaev [et al.] // *Optics Letters*. — 2005. — dec. — Vol. 30, no. 24. — P. 3356. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OL.30.003356>.
16. Surface Plasmon Radiation Forces / G. Volpe [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2006. — jun. — Vol. 96, no. 23. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.96.238101>.
17. Quidant R., Girard C. Surface-plasmon-based optical manipulation // *Laser & Photonics Review*. — 2008. — apr. — Vol. 2, no. 1-2. — P. 47–57. — URL: <https://doi.org/10.1002/lpor.200710038>.

**Information about authors:**

**Elizaveta Evgenievna Volkova** – student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: [liza\\_volkova1999@mail.ru](mailto:liza_volkova1999@mail.ru)

ORCID iD  0000-0003-2849-7090

Web of Science ResearcherID  AAZ-9027-2020