

УДК 535.8  
ББК 22.343  
ГРНТИ 29.31.21  
ВАК 01.04.05

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

О. Н. Захарова  <sup>1</sup>

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

Поступила в редакцию 5 мая 2022 года  
После переработки 12 мая 2022 года  
Опубликована 7 июня 2022 года

---

**Аннотация.** Описан результат разработки модульной структуры, теоретических материалов, элементов контроля дистанционного курса по оптоэлектронике, созданного на платформе MOODLE. Рассматривается процесс создания модульной структуры и материалов дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE. Дистанционный курс по оптоэлектронике содержит сведения из оптоэлектроники, а также описание оригинальных результатов по описанию систем, приборов и устройств оптоэлектроники.

**Ключевые слова:** оптоэлектроника, дистанционный курс, модульная структура, теоретические материалы, элементы контроля знаний, система управления обучением MOODLE

PACS: 01.50.H-

---

### Введение

Рассматривается процесс создания модульной структуры и материалов дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE. Дистанционный курс по оптоэлектронике будет содержать теоретические сведения из оптоэлектроники, а также описание оригинальных результатов по описанию систем, приборов и устройств оптоэлектроники.

Целью исследования является создание дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE. В задачи исследования входят создание модульной структуры курса по оптоэлектронике, создание теоретических материалов курса по оптоэлектронике, разработка элементов дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

Объектом исследования являются курс оптоэлектроники. Предметом исследования является процесс создания модульной структуры, материалов и элементов дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

---

<sup>1</sup>E-mail: zkhrvolly@gmail.com

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

В качестве методов исследования используется анализ теоретических материалов по оптоэлектронике, синтез различных концепций описания физических процессов оптоэлектронике, компьютерное моделирование простых дисперсионных зависимостей характеристик оптоэлектронных приборов, проектирование дистанционного курса.

В качестве материалов исследования используются теоретические материалы по оптоэлектронике.

Базой исследования дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE является образовательный портал ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова».

## Обзор работ по оптоэлектронным приборам

Сильное поглощение света в ближней инфракрасной области полупроводниковыми диалкогендами переходных металлов необходимо для повышения эффективности извлечения фотоносителей в оптоэлектронных устройствах. Численно продемонстрировано, что оригинальная метаповерхность Гюйгенда диалкогендида переходного металла специально разработана для преодоления предела поглощения 50 % субволновой тонкой плёнки. Уникальная метаповерхность, состоящая из массива нанодисков из диалкогендида переходного металла, демонстрирует характерные резонансы Ми, включая электрические и магнитные диполи. Тщательно оптимизируя соотношение сторон нанодисков, успешно реализуется экстраординарное спектральное перекрытие ортогональных электрических и магнитных дипольных резонансов[1].

Скорости рекомбинации в оптоэлектронных полупроводниках обычно регистрируют с помощью длительных и дорогостоящих измерений. В статье [2] представлен метод простого и быстрого извлечения коэффициентов скорости затухания, используя только измерения квантовой эффективности фотолюминесценции, которые продемонстрированы на тонкоплёночных образцах галогенидного перовскита. Объединяем эти отношения с данными фотолюминесценции с временным разрешением, чтобы получить абсолютные скорости рекомбинации, с превосходным согласием, когда подход сравнивается с более затратным по времени и инфраструктуре методом спектроскопии нестационарного поглощения. Этот подход также позволяет напрямую количественно определить соотношение между полной скоростью рекомбинации второго порядка и скоростью излучательной рекомбинации второго порядка. Показано, что излучательная рекомбинация является лишь частью общей рекомбинации второго порядка в диапазоне образцов галогенидного перовскита, имеющих отношение к фотогальванике. Продemonстрированы последствия быстрого извлечения скоростей распада путём извлечения отношений скоростей распада в микромасштабе и путём расчёта ожидаемой максимальной эффективности солнечного элемента, изготовленного из измеренной плёнки перовскита. Показано, что уменьшение потерь первого порядка значительно повысит эффективность солнечных элементов для образцов до тех пор, пока время жизни фотолюминесценции с временным разрешением не превысит примерно 1 мкс (при низкой интенсивности импульса возбуждения), после чего безызлучательная рекомбинация второго порядка ограничивает эффективность солнечных батарей на основе перовскита. Представлены основы для быстрого скрининга оптоэлектронных полупроводников с помощью методов, широко доступных для многих исследовательских групп, идентифицирует процессы распада, которые в противном случае были бы упущены, и напрямую связывает

извлечённые значения с прогнозируемыми показателями производительности устройства.

Современные оптоэлектронные устройства и приборы полагаются на фундаментальные концепции электродинамики резонатора для улучшения физических характеристик, встраивая активную среду в оптический резонатор для улучшения связи света с веществом. Эта скорость связи обычно мала по сравнению с энергией электронов и фотонов. Несмотря на несколько демонстраций, устройства, работающие с гораздо большей силой связи света и материи в так называемом режиме сильной связи света и материи, ещё предстоит продемонстрировать как жизнеспособные практические кандидаты. Одним из основных технологических препятствий, препятствующих их распространению, является понимание извлечения и инъекции тока носителей из сильно связанных состояний света и материи. В статье [3] исследуется это фундаментальное явление в квантово-каскадных детекторах среднего инфракрасного диапазона квантовой хромодинамики, работающих в режиме связи света и вещества от умеренной до сильной. Они действуют вокруг  $\lambda = 10$  мкм с минимальным расщеплением Раби 9.3 мэВ. Простая модель, основанная на обычном описании транспорта в квантовой хромодинамике, не воспроизводит поляритонных особенностей в спектрах фототока. Наоборот, более совершенный подход, основанный на полуклассической теории связанных мод, способен воспроизводить как оптические, так и электрические спектры с превосходным согласием. Сопоставляя поглощение и фотоотклик с моделированием, продемонстрировано, что в этой системе резонансное туннелирование из поляритонных состояний, по-видимому, является преобладающим механизмом извлечения. Тёмные межподзонные состояния не играют существенной роли в этом процессе, в отличие от того, что происходит в электрически инжектированных поляритонных излучателях.

Наноэлектроника доменных стенок привлекла большое внимание с момента открытия проводящих доменных стенок, где доменные стенки р-п-перехода незаменимы для устройств оптоэлектроники. В статье [4] сообщается об изготовлении доменной стенки р-п-перехода на основе р-п-проводящих доменных стенок в разрезанной тонкой плёнке ниобата лития на изоляторе с использованием метода поляризации бокового электрического поля.

Основываясь на коэффициенте пропускания туннелирующих электронов, в статье [5] представлен туннельный ток и проводимость через квадратный потенциальный барьер как для графена, так и для графеновых решёток в линейно поляризованном нерезонансном одевающем поле. Наличие такого одевающего поля вносит фактор анизотропии в энергетическую дисперсию туннелирующих электронов, так что поперечное сечение конуса Дирака выглядит как эллиптическое. Следовательно, большая ось эллипса, контролируемая поляризацией поля, будет смещена относительно нормального направления барьерного слоя в системе туннелирования, что демонстрирует асимметричный парадокс Клейна для туннелирования в ненормальном направлении. Результирующий туннельный ток в этой системе рассчитывается с использованием коэффициента прохождения и продольной групповой скорости (отличной от продольного импульса) электронов. Представляя численно рассчитанную туннельную проводимость, модифицированную лазерным перевязочным полем, продемонстрировано значительное улучшение электропроводности за счёт интенсивности внешнего лазерного поля, что, как ожидается, будет иметь решающее значение в применении сверхбыстрой оптической модуляции оптоэлектронных устройств для фотодетектирования и волоконно-оптических устройств связи.

Наличие беспорядка в полупроводниках может резко изменить их физические свойства. Тем не менее, модели, точно учитывающие это, всё ещё немногочисленны и неэффективны в вычислительном отношении. В статье [6] представлены математическая и

вычислительная модели, способные имитировать оптоэлектронный отклик полупроводниковых сплавов с длиной стороны в несколько десятков нанометров, и в то же время учитывать эффекты квантовой локализации, вызванные композиционным беспорядком на наноуровне. Модель основана на анализе Вигнера-Вейля структуры собственных состояний электрона и дырки в фазовом пространстве, что стало возможным благодаря теории ландшафта локализации. После проверки расчётами на основе собственных состояний в одномерной и двумерной модели применяется для расчёта поглощения света в трёхмерных сплавах InGaN различного состава. Получены подробные структуры хвоста поглощения ниже средней ширины запрещённой зоны и энергии Урбаха всех моделируемых составов. Более того, формализм Вигнера-Вейля позволяет нам определять и вычислять трехмерные карты эффективной локально поглощаемой мощности на всех частотах. Наконец, предлагаемый подход открывает путь для обобщения этого метода на все процессы энергообмена, такие как излучательная и безизлучательная рекомбинация в реальных устройствах.

В статье [7] исследовано влияние коэффициента эллиптичности поля поляризованного излучения на оптоэлектронные свойства двумерной полудираковской системы. Оптическая проводимость рассчитывается в рамках подхода уравнения энергетического баланса, полученного из полуклассического уравнения Больцмана. Обнаружено, что существует анизотропное оптическое поглощение, индуцированное как внутризонными, так и межзонными электронными переходными каналами в перпендикулярных направлениях  $xx$  и  $yy$ . Кроме того, исследуется влияние коэффициента эллиптичности, температуры, плотности носителей и параметра запрещённой зоны на оптическую проводимость двумерной полудираковской системы. Оптическая проводимость рассчитывается внутри энергетической системы, расположенной соответственно в поперечном и вертикальном направлениях. Показано, что коэффициент эллиптичности, температура, плотность носителей и параметр запрещенной зоны могут играть важную роль в настройке силы, положения пика и формы спектра оптической проводимости. Результаты, полученные в этом исследовании, показывают, что двумерная полудираковская система. Оптическая проводимость, рассчитанная в рамках системы, которая может быть перспективным анизотропным и перестраиваемым оптическим и оптоэлектронным материалом для применения в инновационных двумерных оптических и оптоэлектронных устройствах, активных в инфракрасном и терагерцовом диапазонах.

Нитрид эрбия представляет собой новый полупроводниковый пниктид из каменной соли и редкоземельных элементов, который в последние годы вызвал значительный интерес в связи с его потенциальными применениями в термоэлектрическом преобразовании энергии, устройствах спинтроники и криокулерах Гиффорда-МакМагона. Из-за внутриэлектронного  $4f$ -перехода эрбия легированные эрбием III-нитридные полупроводники, такие как GaN, InGaN, демонстрируют сильное излучение в безопасном для сетчатки глаза и оптоволоконном диапазоне длин волн 1.54 мкм, который широко исследуется для разработки твердотельных лазеры, усилители и светоизлучающие устройства. Однако из-за склонности нитрида эрбия к окислению в окружающей среде выращивание высококачественных тонких плёнок из нитрида эрбия было сложной задачей, и глубокое понимание его электронной структуры остается без ответа. В статье [8] электронная структура валентной зоны тонких плёнок нитрида эрбия измерена с помощью нормальной, а также фотоэмиссионной спектроскопии резонансного синхротронного излучения. Измерения фотоэмиссии показывают максимум валентной зоны и разность энергий Ферми около 2.3 эВ в нитриде эрбия.

Объёмный фотоэлектрический эффект в кристаллах, лишенных инверсионной симметрии, предлагает большой потенциал для применения в оптоэлектронике благодаря своим уникальным свойствам, таким как фотонапряжение выше запрещённой зоны и

переключаемый фототок. Из-за их больших спонтанных поляризации сегнетоэлектрические материалы являются идеальной платформой для изучения объёмной фотоэлектрической энергии. Однако определить происхождение экспериментально наблюдаемого фотогальванического отклика часто бывает сложно из-за запутанности между объёмными и межфазными эффектами, что приводит к многочисленным спорам в этой области. Эта проблема особенно ярко выражена в вертикальных гетероструктурах, где два эффекта сопоставимы. В статье [9] сообщается о переходе между объёмными и межфазными откликами в вертикальных гетероструктурах  $\text{BiFeO}_3$  при изменении энергии фотонов. Показано, что возбуждение значительно выше ширины запрещённой зоны приводит к объёмному фотогальваническому отклику, но возбуждение на краю полосы требует изгиба полосы на границе раздела для разделения фотоносителей. Результаты не только помогают прояснить противоречивые сообщения в литературе, но и закладывают основу для более глубокого понимания сегнетоэлектрического фотоэлектрического эффекта и его применения в различных устройствах.

Структура оптической диадической функции Грина для описания поперечных электромагнитных полей в плоском пакете солнечных элементов из перовскита связана с электронной моделью дрейфа и диффузии для строгого рассмотрения рециркуляции фотонов в режиме волновой оптики для реалистичного фотоэлектрического устройства. Оптическая модель обеспечивает локальную скорость реабсорбции, а также совместимый с детальным балансом префактор излучения, которые используются в электронной модели для достижения самосогласованного решения, которое даёт полные характеристики оптоэлектронного устройства. В статье [10] представленный подход даёт подробное представление о влиянии рециркуляции фотонов на характеристики устройства при различных режимах переноса заряда и рекомбинации и может помочь определить различные электронные и оптические потери для неидеальных, реалистичных устройств. Глобальная эффективность рециркуляции фотонов количественно определяется путём определения квантовой эффективности реабсорбированного излучения, в то время как локальная эффективность может быть, кроме того, количественно определена путём определения эффективного локального префактора излучения. Представленная здесь модель может быть использована для разработки будущих устройств, использующих весь потенциал повторного использования фотонов.

В статье [11] с использованием обобщенного уравнения Больцмана Задеголя предложен решеточный метод Больцмана во временной области. Методы во временной области, такие как метод конечных разностей во временной области, были предложены исследователями в качестве инструментов для изучения и проектирования полупроводниковых и оптоэлектронных устройств. Решетчатый метод Больцмана во временной области наследует основные преимущества решетчатых методов Больцмана по сравнению с обычными методами, а именно простоту реализации, простоту обработки сложной геометрии и явные алгоритмы, которые делают метод очень подходящим для эффективной параллельной обработки. Теоретические выводы были проверены путём проведения решеточного анализа во временной области Больцмана на некоторых эталонных структурах.

Гетероструктуры Ван-дер-Ваальса демонстрируют множество интригующих явлений, включая сверхбыстрое разделение зарядов после сильного экситонного поглощения в видимом спектральном диапазоне. Однако, несмотря на огромный потенциал будущих приложений в области оптоэлектроники, лежащий в основе микроскопический механизм остается спорным. В статье [12] используется фотоэмиссионная спектроскопия с временным и угловым разрешением в сочетании с микроскопической теорией многих частиц, чтобы выявить соответствующие микроскопические каналы переноса заряда в эпитаксиальных гетероструктурах  $\text{WS}_2$ /графен. Обнаружено, что временная

шкала эффективного сверхбыстрого разделения зарядов в материале определяется прямым туннелированием в тех точках зоны Бриллюэна, где пересекаются полосы  $WS_2$  и графена, а время жизни переходного состояния с разделенным зарядом определяется дефектным туннелированием через локализованные вакансии серы. Тонкое взаимодействие внутренних и связанных с дефектами каналов переноса заряда, может быть использовано для разработки высокоэффективных светособирающих и регистрирующих устройств.

В книге [13] практичным и последовательным образом вводятся сложные концепции, включая такие, как квантовая механика электронно-фотонного взаимодействия, квантование электромагнитного поля, свойства полупроводников, квантовая теория гетероструктур и нелинейная оптика. Рассмотрены концепции для описания физики, свойств и характеристик основных оптоэлектронных устройств: светоизлучающих диодов, лазеров с квантовыми ямами, фотодетекторов, оптических параметрических генераторов и волноводов. Акцент сделан на объединяющих теоретических аналогиях оптоэлектроники, таких как эквивалентность квантования в гетероструктурных ямах и волноводных модах, запутанность излучения абсолютно чёрного тела и полупроводниковая статистика. Также представляются различные устройства, включая лазеры с вертикальным поверхностным излучением, инфракрасные фотодетекторы с квантовыми ямами, квантовые каскадные лазеры и оптические преобразователи частоты.

В статье [14] обнаружен и исследован фотовольтаический эффект, обусловленный фотогенерацией носителей тока на границе раздела сред в органических полимерных гетероструктурах на основе разработанных композитов с дырочной (допированные полиимиды, сопряжённые полимеры) и электронной (допированные полиэфиримиды и карбазолилсодержащие полимеры) проводимостью обнаружен и исследован фотовольтаический эффект, обусловленный фотогенерацией носителей тока на границе раздела. Наилучшие характеристики наблюдали для гетероструктур с диффузной и развитой (объёмной) границей раздела. Максимальная энергетическая эффективность конверсии составляет 0.5 процента в области длины волны от 400 нм до 650 нм. Используются компоненты с повышенной фотостойкостью и термостойкостью.

В статье [15] исследованы электрофизические параметры и характеристики элементов оптоэлектронных приборов в спецкурсе по оптоэлектронике. В статье [16] исследованы оптические свойства шероховатой поверхности элементов оптоэлектроники. В статье [17] исследованы структуры и свойства халькогенидных стекол для оптоэлектроники.

Анализ работ по оптоэлектронике показывает актуальность темы исследования.

## **Разработка структуры и элементов дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE**

Рассмотрим основные результаты разработки модульной структуры и теоретических элементов дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

Под проектированием дистанционного курса по оптоэлектронике понимают процесс разработки дистанционного курса, в котором активно используются автоматизированные методы контроля в ходе продвижения при изучении курса по оптоэлектронике. Основные задачи изучения курса по оптоэлектронике состоят в развитии логики теоретического мышления, интуиции, творческих способностей, овладении системой знаний и умений по оптоэлектронике. Основной подход к изучению курса по оптоэлектронике с использованием информационных технологий заключается в увеличении визуально воспринимаемой студентом информации посредством использования дистанционного курса в процессе изучения оптоэлектронике в университете. Структура дистанционно-

го курса по оптоэлектронике 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 дистанционного курса. На втором этапе создания дистанционного курса производится разработка структуры дистанционного курса в строгом соответствии с выбранной тематикой и объёмом курса по оптоэлектронике. На третьем этапе создания дистанционного курса по оптоэлектронике производится разработка содержания блоков дистанционного курса по тематическим модулям и темам. На четвёртом этапе создания дистанционного курса по оптоэлектронике производится визуализация полученной структуры в наглядном виде для планомерного контроля наполнения различных модулей и тем курса по оптоэлектронике. На пятом этапе создания дистанционного курса производится поиск программного обеспечения для разработки дистанционного курса по оптоэлектронике 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 по оптоэлектронике производится наполнение модулей элементами и отладка элементов. На восьмом этапе создания дистанционного курса производится разработка банка тестовых вопросов и заданий по курсу по оптоэлектронике, создание банка тестов, компоновка тестов по темам и модулям. На девятом этапе создания дистанционного курса производится апробация дистанционного курса по оптоэлектронике в учебном процессе. На десятом этапе создания дистанционного курса производится корректирование содержания и выявление недостатков дистанционного курса по оптоэлектронике.

На рис. 1 приведено изображение входной страницы дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE. Входная страница дистанционного курса по оптоэлектронике содержит название курса, эмблему курса, перечень преподавателей курса и краткое описание курса.

На рис. 2 приведено изображение страницы с некоторыми элементами первой темы дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

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

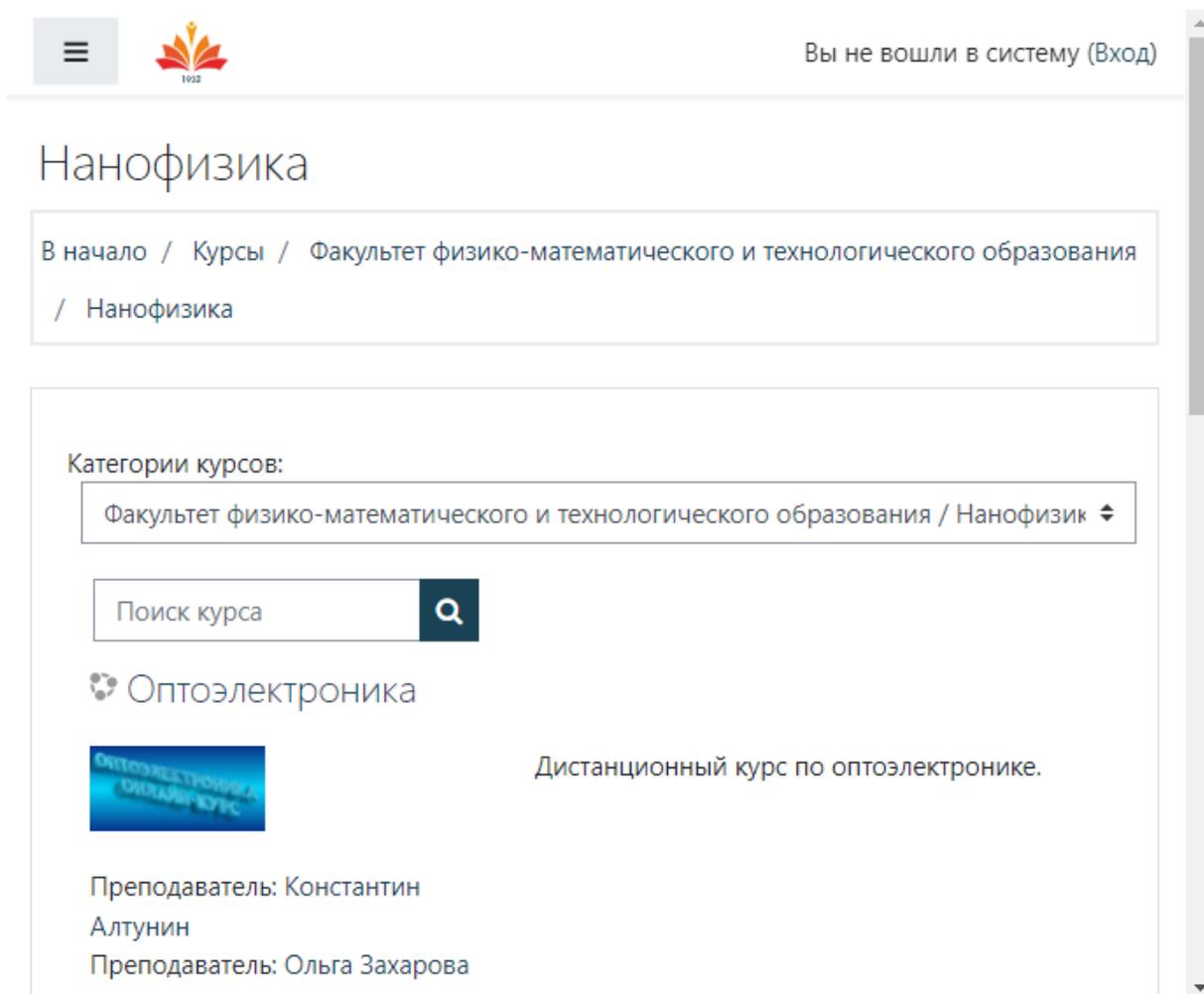


Рис. 1. Входная страница дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

информации.

На рис. 3 приведено изображение первой части модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 4 приведено изображение второй части модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 5 приведено изображение третьей части модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение четвертой части модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 7 приведено изображение пятой части модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 8 приведено изображение шестой части модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 9 приведено изображение страницы с некоторыми элементами второй темы дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на

Оптоэлектроника

Личный кабинет / Мои курсы / Оптоэлектроника / 1. Элементы зонной теории твёрдых тел

Режим редактирования

2. Уравнения Максвелла для диэлектрической среды. Материальные уравнения.  
Уравнения граничных условий ▶

1. Элементы зонной теории твёрдых тел

Объявления

**Оптоэлектроника** – это научно-техническое направление, связанное с явлениями, в которых неразрывны оптические и электронные процессы, ориентированное на приём, передачу, обработку, хранение, отображение информации и реализуемое на основе технологической базы микроэлектроники.

Элементы зонной теории твёрдых тел

Давыдов, В. Н. Физические основы оптоэлектроники : учебное пособие / В. Н. Давыдов. - Томск : ТУСУР, 2016. - 139 с.

Шапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники : учебное пособие / И. А. Шапова. - 3-е изд., стереотип. - Москва : ФЛИНТА, 2017. - 235 с.

Рис. 2. Страница с некоторыми элементами первой темы дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

платформе MOODLE.

На рис. 10 приведено изображение страницы с первой лекцией по полевым уравнениям Максвелла для среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE. Лекция по уравнениям Максвелла в дистанционном курсе по оптоэлектронике используется для подачи нового материала по теме, связанной с изучением различных форм полевых уравнений Максвелла для среды. Полевые уравнения Максвелла используются для описания взаимодействия оптического излучения с оптоэлектронными приборами и устройствами. Работа с лекцией и с вопросами внутри лекции оценивается в 1 балл. В лекции имеются вопросы, которые позволяют отследить работу студентов с лекцией. Правильные ответы, данные на вопросы лекции, позволяют студентам перейти на следующий слайд лекции и выйти на конец лекции после изучения всех страниц лекции.

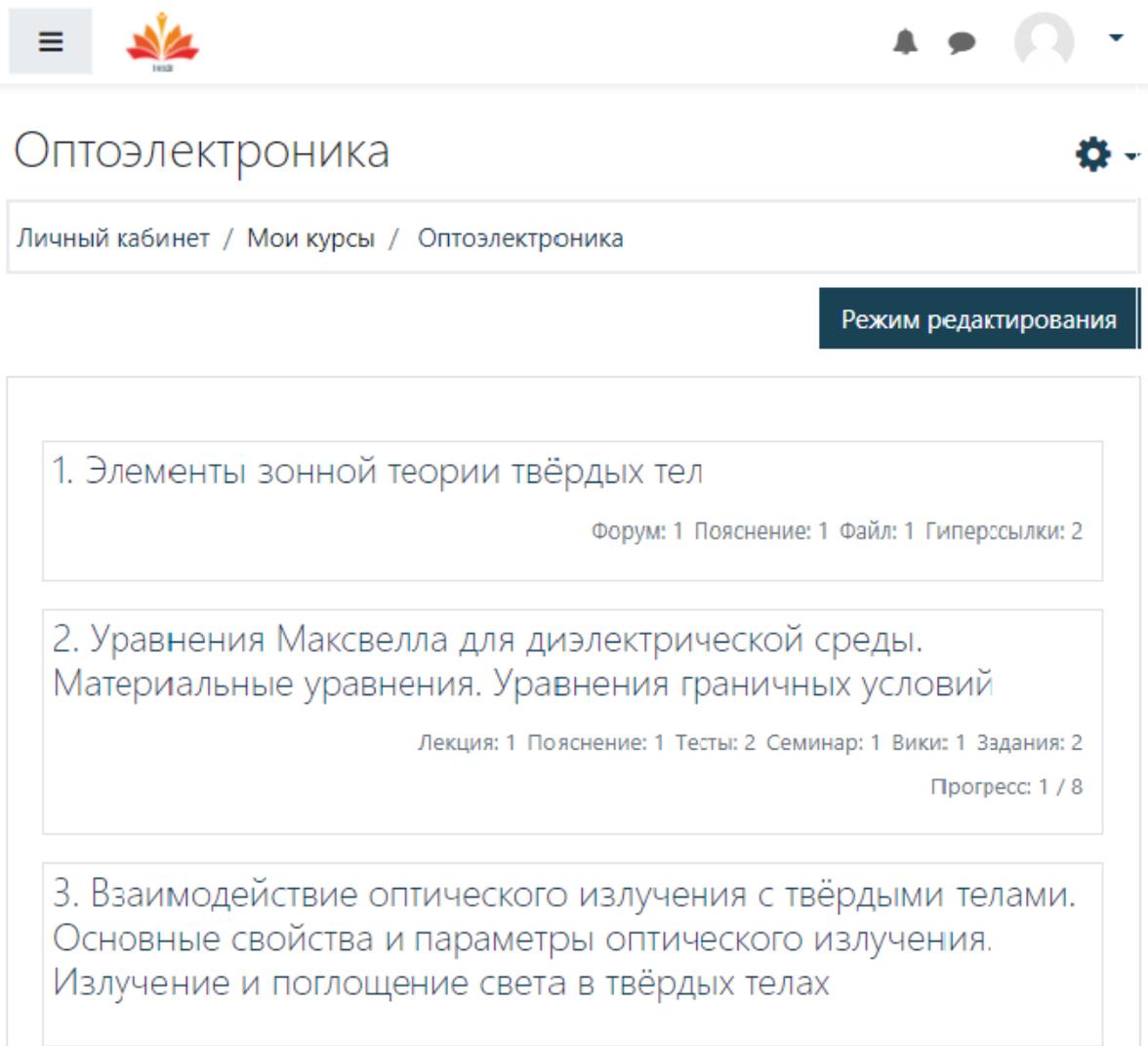


Рис. 3. Первая часть модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

### **Разработка элементов контроля знаний в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE**

Рассмотрим результаты разработки некоторых элементов контроля в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по оптоэлектронике включает элементы, содержащие следующие контролируемые элементы: тестовые задания для организации промежуточного и итогового контроля по оптоэлектронике. Правильная подборка физических задач и заданий в каждом тематическом модуле курса по оптоэлектронике поможет закрепить изученный материал и подготовить студента с помощью материалов и заданий курса по оптоэлектронике.

На первом этапе создания банка заданий и вопросов производится определение целей и задач, для которых будет использоваться банка заданий и вопросов. Банк вопросов, предназначенный для стандартного тестового контроля, и банк вопросов, предназначенный для тестового контроля заданий разного уровня и тематического содержания, будут существенно различаться. На втором этапе создания банка заданий и вопросов производится разработка тематической структуры банка заданий и вопросов в соответ-

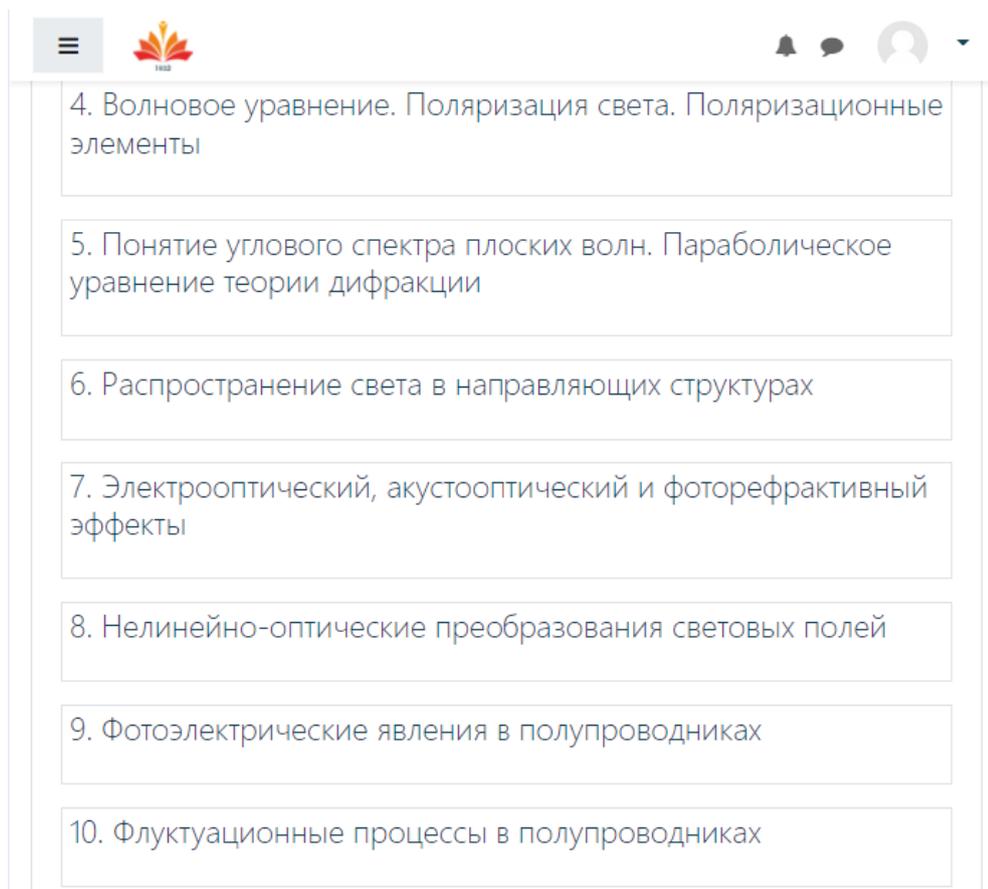


Рис. 4. Вторая часть модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

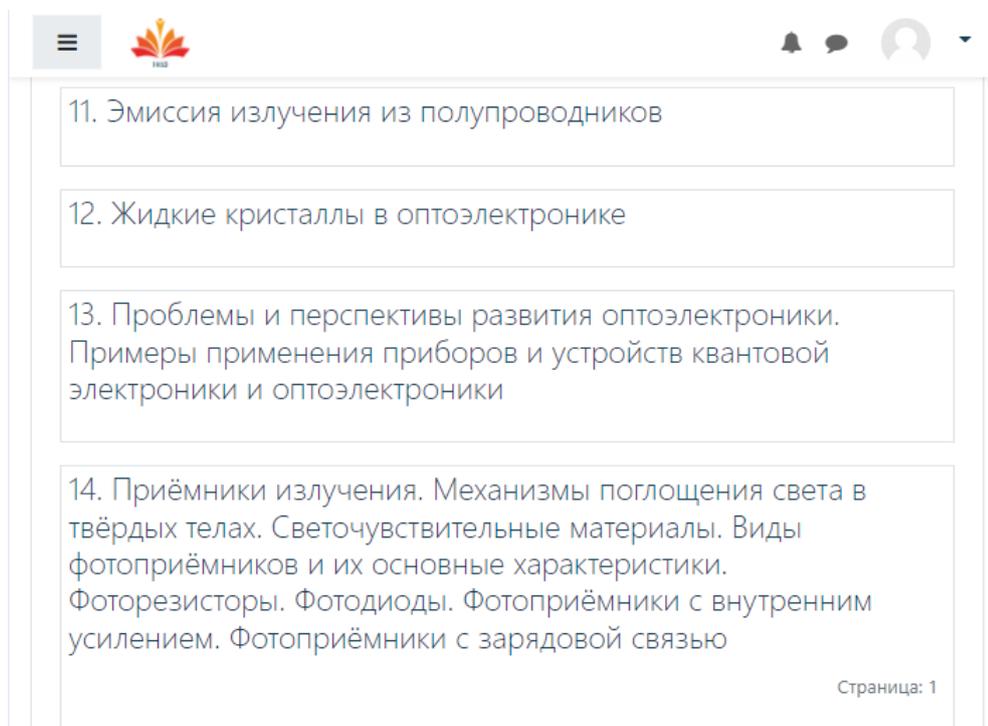


Рис. 5. Третья часть модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

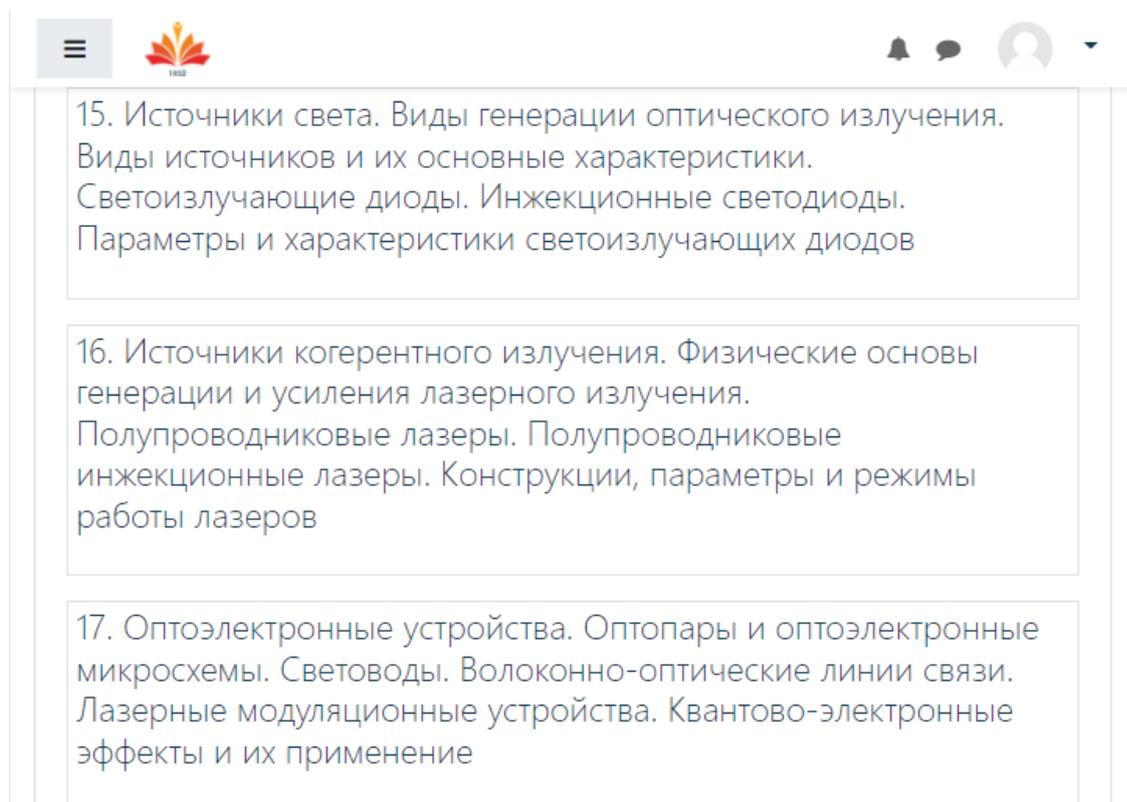


Рис. 6. Четвёртая часть модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

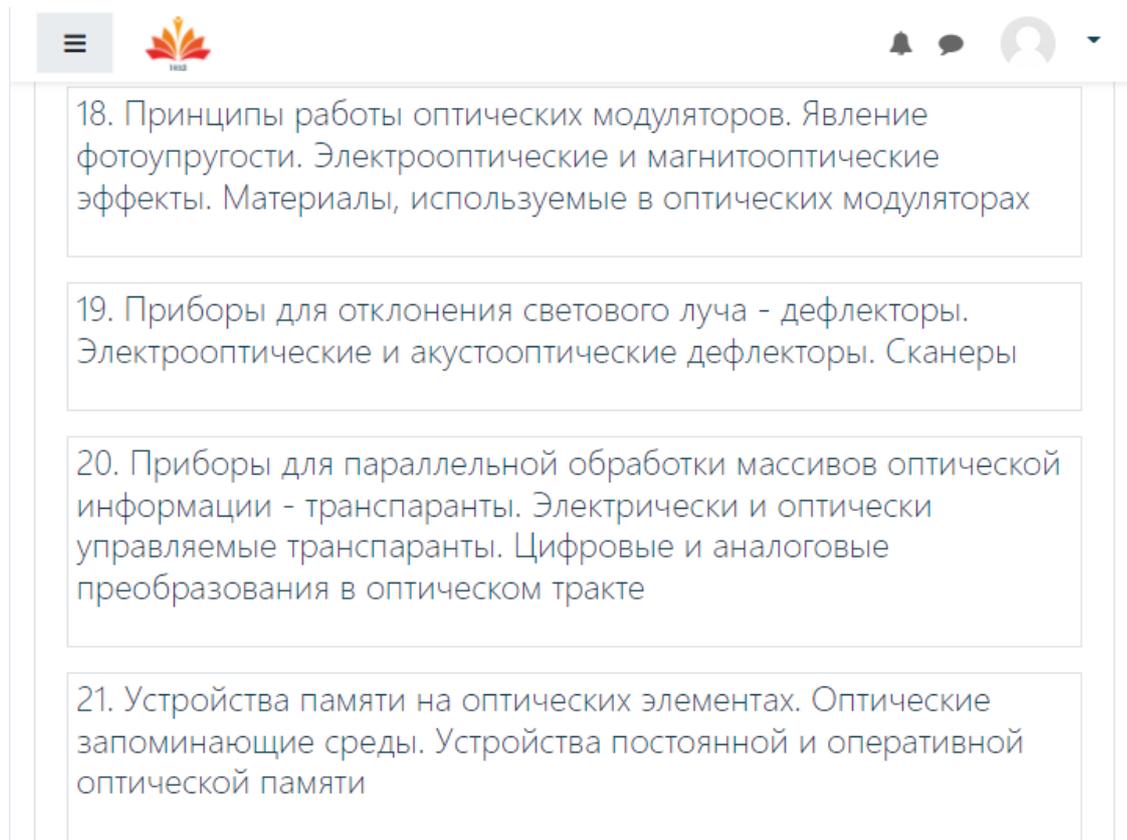


Рис. 7. Пятая часть модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

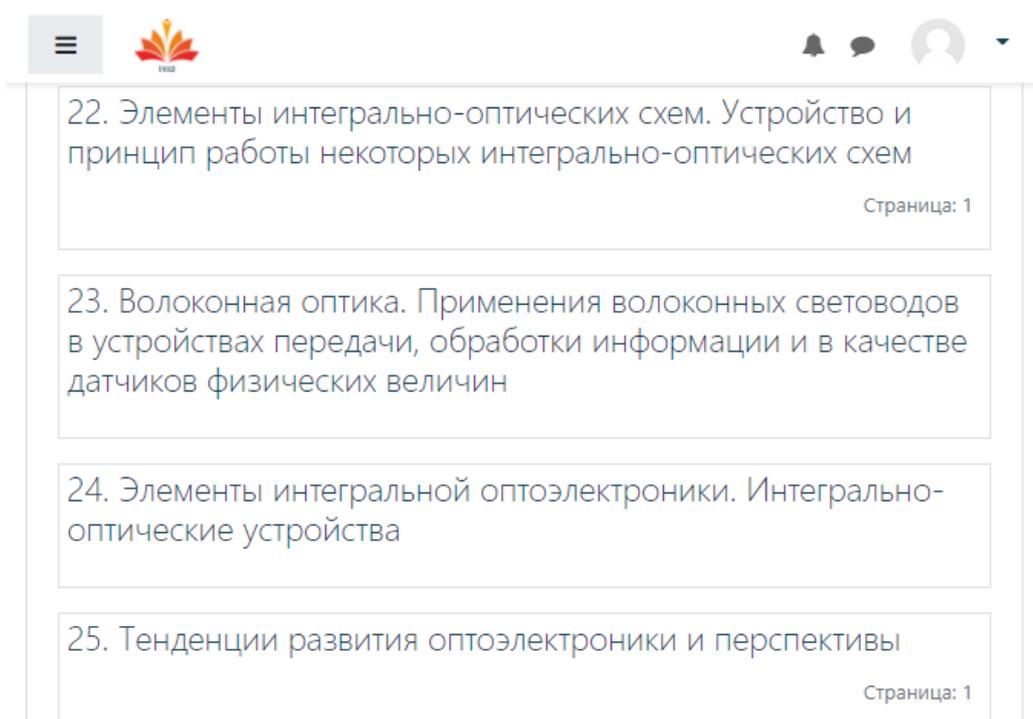


Рис. 8. Шестая часть модульной структуры дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

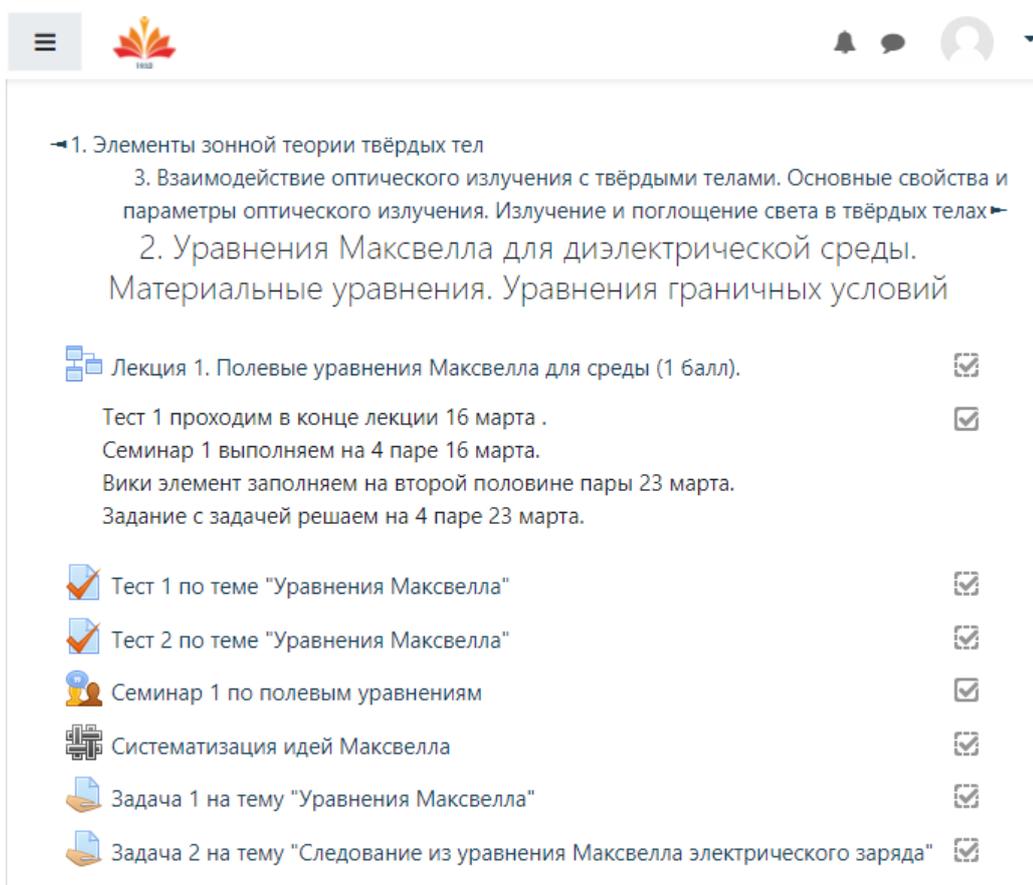


Рис. 9. Страница с некоторыми элементами второй темы дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

Лекция 1. Полевые уравнения Максвелла для среды (1 балл). ?

Просмотр Редактировать Отчеты Оценить эссе

### 1. Основные понятия

Основные законы электродинамики (уравнения Максвелла) были сформулированы в 1873 году. По своей значимости они аналогичны законам Ньютона в механике. Современная формулировка дана Герцем и Хевисайдом. Эти уравнения связывают характеристики электромагнитного поля и его источники.

В данные уравнения входят  $\vec{E}$  - напряженность электрического поля,  $\vec{B}$  индукция магнитного поля. Эти величины являются основными, т.к. определяют силу, действующую на заряженную частицу ( $F_L$ ) – силу Лоренца.

Входят две вспомогательные величины  $\vec{D}$  - индукция электрического поля и  $\vec{H}$  - напряженность магнитного поля. Также

Рис. 10. Страница с первой лекцией по полевым уравнениям Максвелла для среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

ствии с выбранными целями и задачами. На третьем этапе создания банка заданий и вопросов производится разработка содержания тестовых заданий и вопросов в составе банка вопросов и заданий. На четвертом этапе создания банка заданий и вопросов производится наполнение банка вопросов и заданий различными типами вопросов и заданий. На пятом этапе создания банка заданий и вопросов производится создание тестов в составе моделей и тем курса по оптоэлектронике. На шестом этапе создания банка заданий и вопросов производится отладка тестов в составе дистанционного курса по оптоэлектронике. На седьмом этапе создания банка заданий и вопросов производится разработка методических рекомендаций по использованию тестов в составе моделей и тем курса по оптоэлектронике. На восьмом этапе создания банка заданий и вопросов производится апробация банка тестовых вопросов и заданий по оптоэлектронике в учебном процессе. На девятом этапе создания банка заданий и вопросов производится корректирование содержания и выявление недостатков банка тестовых вопросов и заданий в составе дистанционного курса по оптоэлектронике.

Тест 1 по теме, связанной с изучением уравнений Максвелла, содержит в себе два открытых вопроса с множественным выбором, из данного множества ответов можно выбрать лишь один. В системе на выполнение теста 1 установлено временное ограничение, то есть время, которое отводится на выполнение теста составляет не более 5 минут. Тест 1 выполняется после лекции по полевым уравнениям Максвелла для среды. Тест 1

контролирует теоретические знания студентов по полевым уравнениям Максвелла для среды на репродуктивном уровне. В первом вопросе теста 1 проверяется знание закона Гаусса, второй вопрос контролирует знание количества уравнений в системе уравнений Максвелла. Каждый правильный ответ оценивается в 1 балл.

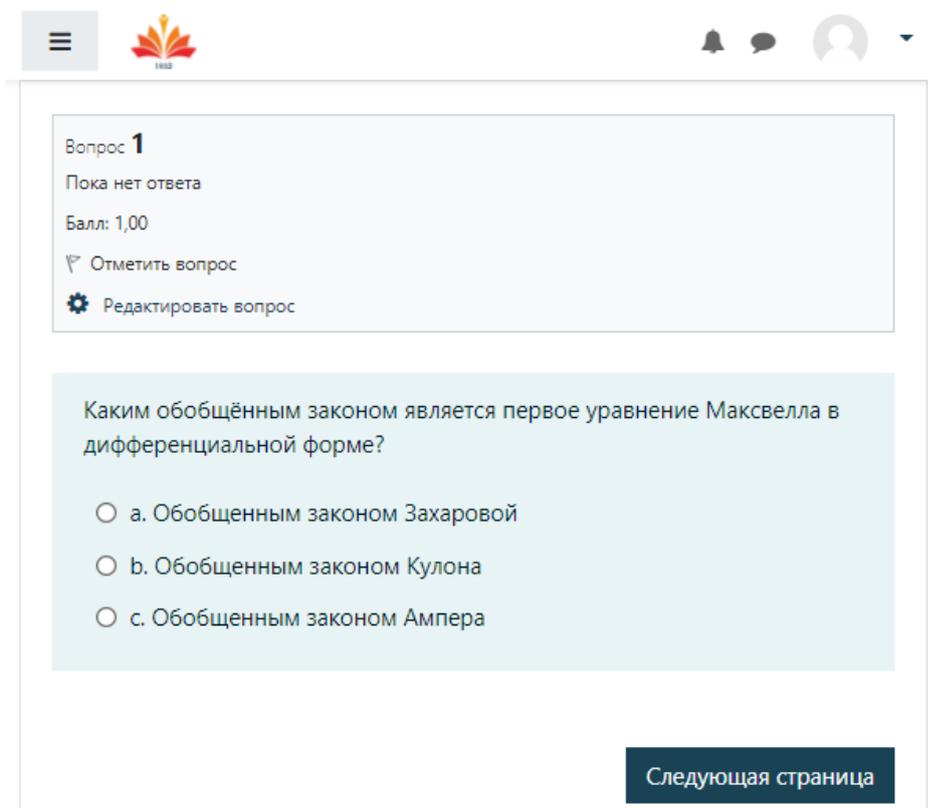


Рис. 11. Вопрос 1 из первого теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 11 приведено изображение страницы с вопросом 1 из первого теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 12 приведено изображение страницы с вопросом 2 из первого теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

Тест 2 по теме, связанной с изучением полевых уравнений Максвелла, содержит в себе 5 открытых вопросов с множественным выбором, из данного множества ответов можно выбрать лишь один и 1 закрытый. В системе на выполнение теста 2 установлено временное ограничение. Время, которое отводится на выполнение теста составляет не более 15 минут. Тест 2 выполняется в начале следующего занятия через неделю. После изучения лекции полевыми уравнениями Максвелла и сопровождающих теоретических материалов студенты переходят к выполнению теста 2. Открытые вопросы направлены на усвоение закона Гаусса и законов Максвелла и их физических смыслов, закрытый вопрос 4 направлен на понимание теоремы о циркуляции магнитного поля.

На рис. 13 приведено изображение страницы с вопросом 1 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе MOODLE.

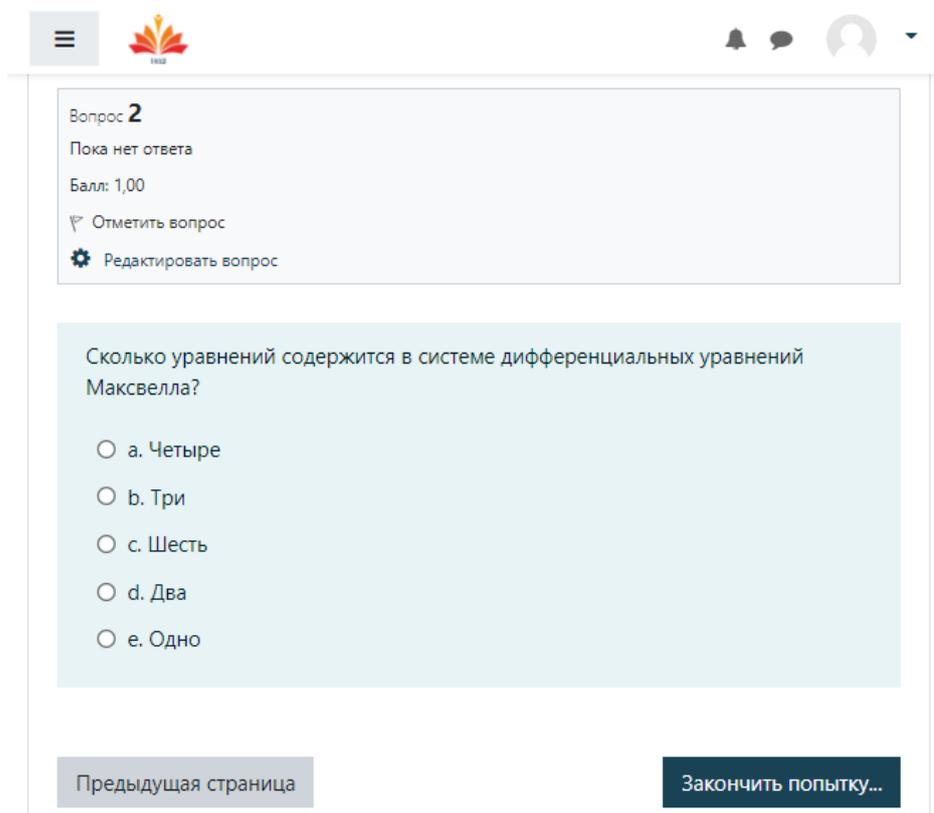


Рис. 12. Вопрос 2 из первого теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 14 приведено изображение страницы с вопросом 2 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 15 приведено изображение страницы с вопросом 3 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 16 приведено изображение страницы с вопросом 4 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 17 приведено изображение страницы с вопросом 5 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 18 приведено изображение страницы с вопросом 6 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

К семинару 1 по полевым уравнениям Максвелла заранее на установленный период открываются вопросы для подготовки и проработки ответов. Семинар 1 по полевым уравнениям Максвелла содержит 4 вопроса для подготовки. Вопросы семинара 1 охватывают первое, второе, третье и четвертое уравнение Максвелла в интегральной и диф-

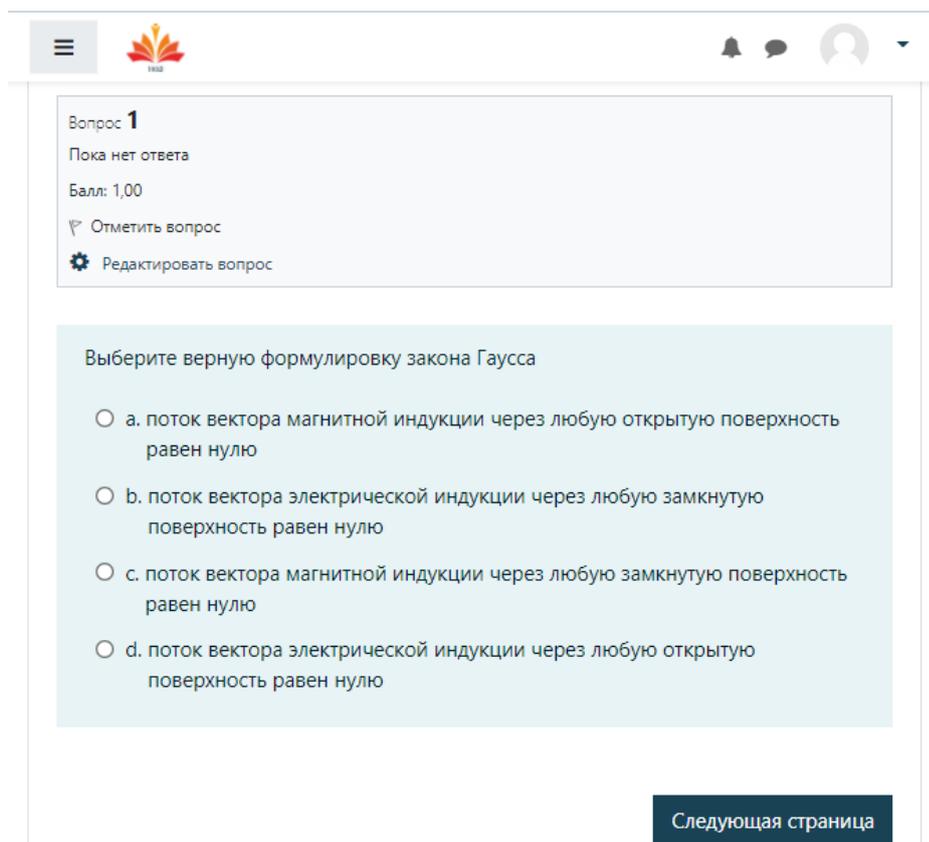


Рис. 13. Вопрос 1 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

ференциальной формах, их математическую запись и формулировку. Данный элемент курса отличается количеством баллов и методом оценивания. Максимальная оценка за полное выполнение задания семинара 1 по полевым уравнениям Максвелла составляет 13 баллов, полная оценка семинара складывается из оценки за индивидуальную работу и оценки за взаимное оценивание. Файлы работ загружаются в задание в количестве не более одного файла. Этот элемент является инструментом совершенствования практической работы на эвристическом уровне и создан для участия студентов в обсуждении с целью лучшего понимания уравнений Максвелла для среды.

На рис. 19 приведено изображение страницы с настройками семинара 1 по полевым уравнениям Максвелла во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 20 приведено изображение страницы с вопросами семинара 1 по полевым уравнениям Максвелла во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

В wiki-элементе собираются теоретические и справочные материалы по результатам обсуждения основных идей, приводящих к уравнениям Максвелла. Элемент курса по оптоэлектронике в виде wiki-элемента используется для организации самостоятельной работы в домашних условиях и для организации работы на занятии в дистанционном или смешанном формате. Работа в wiki-элементе по структурированию следствий полевых уравнений Максвелла развивает поисковые способности студентов и умение отбирать информацию.

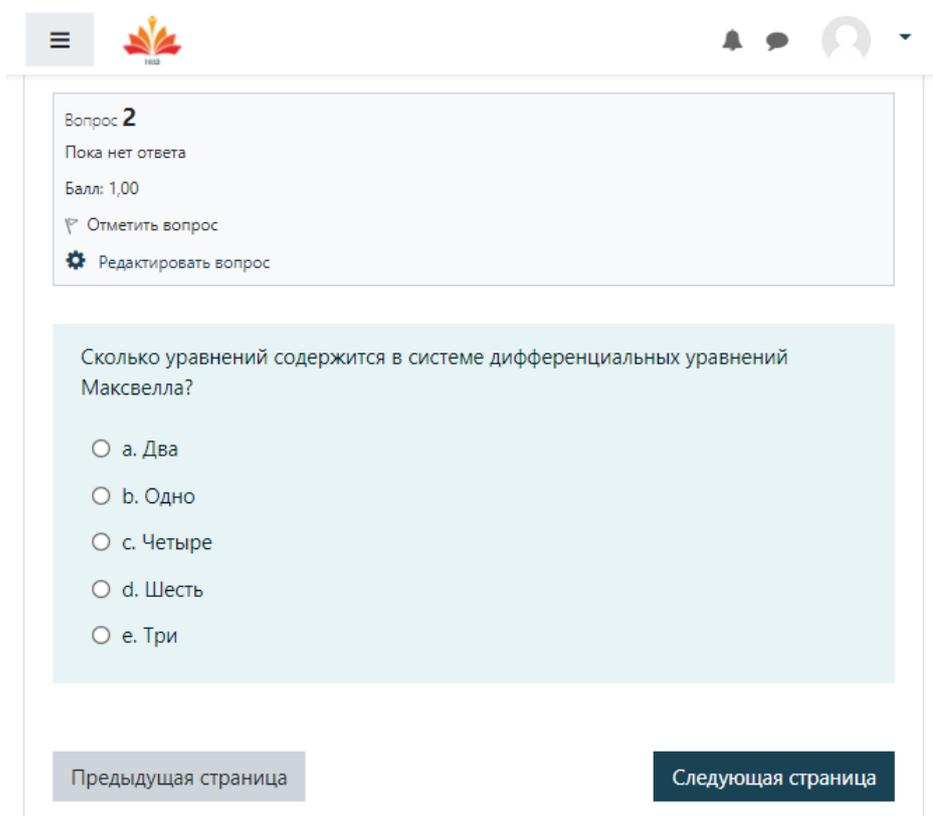


Рис. 14. Вопрос 2 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

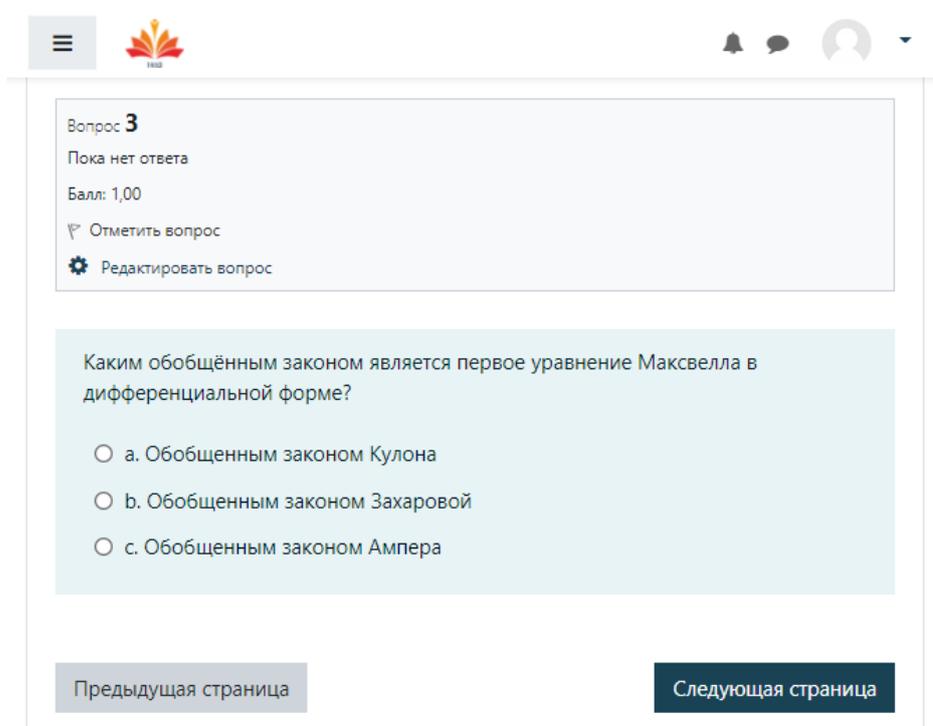


Рис. 15. Вопрос 3 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

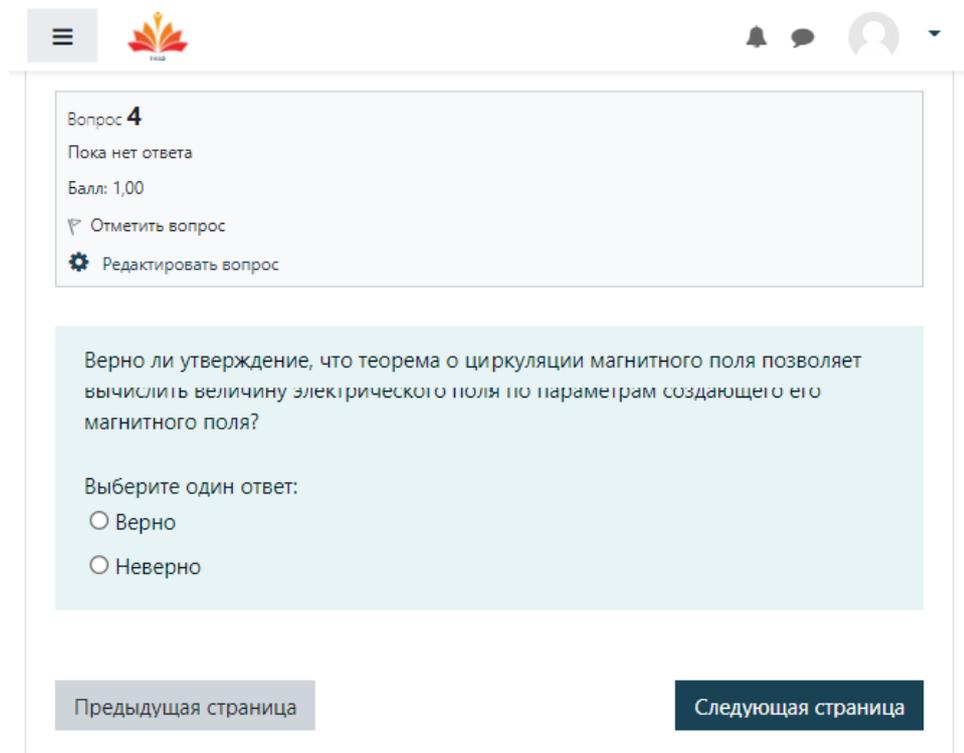


Рис. 16. Вопрос 4 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

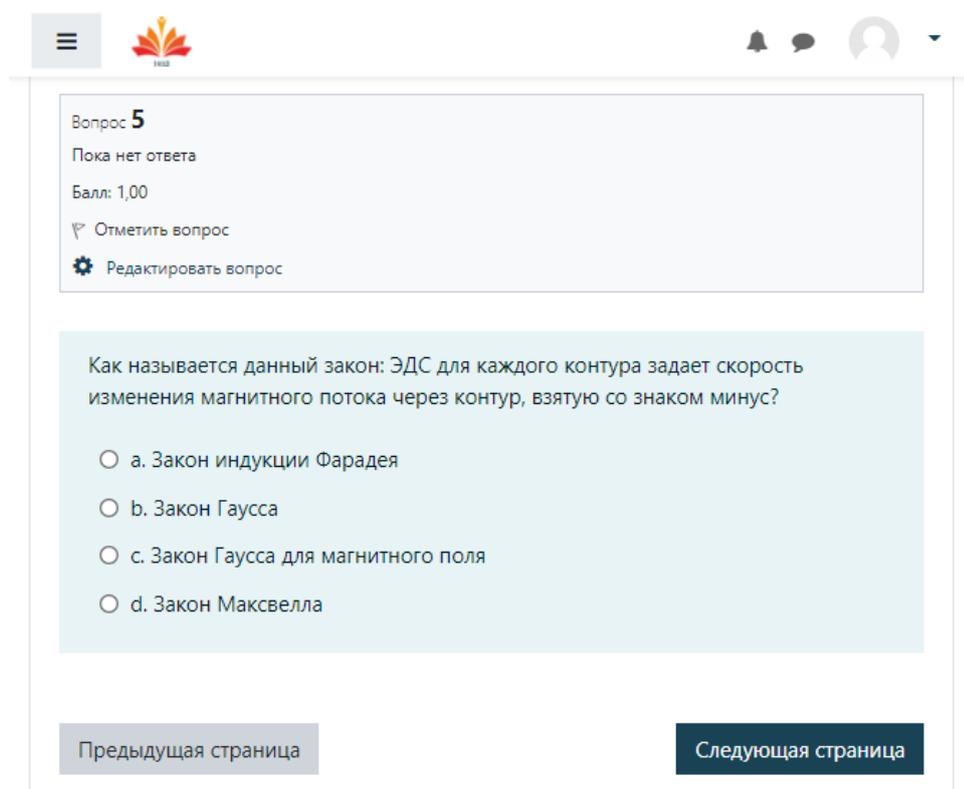


Рис. 17. Вопрос 5 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

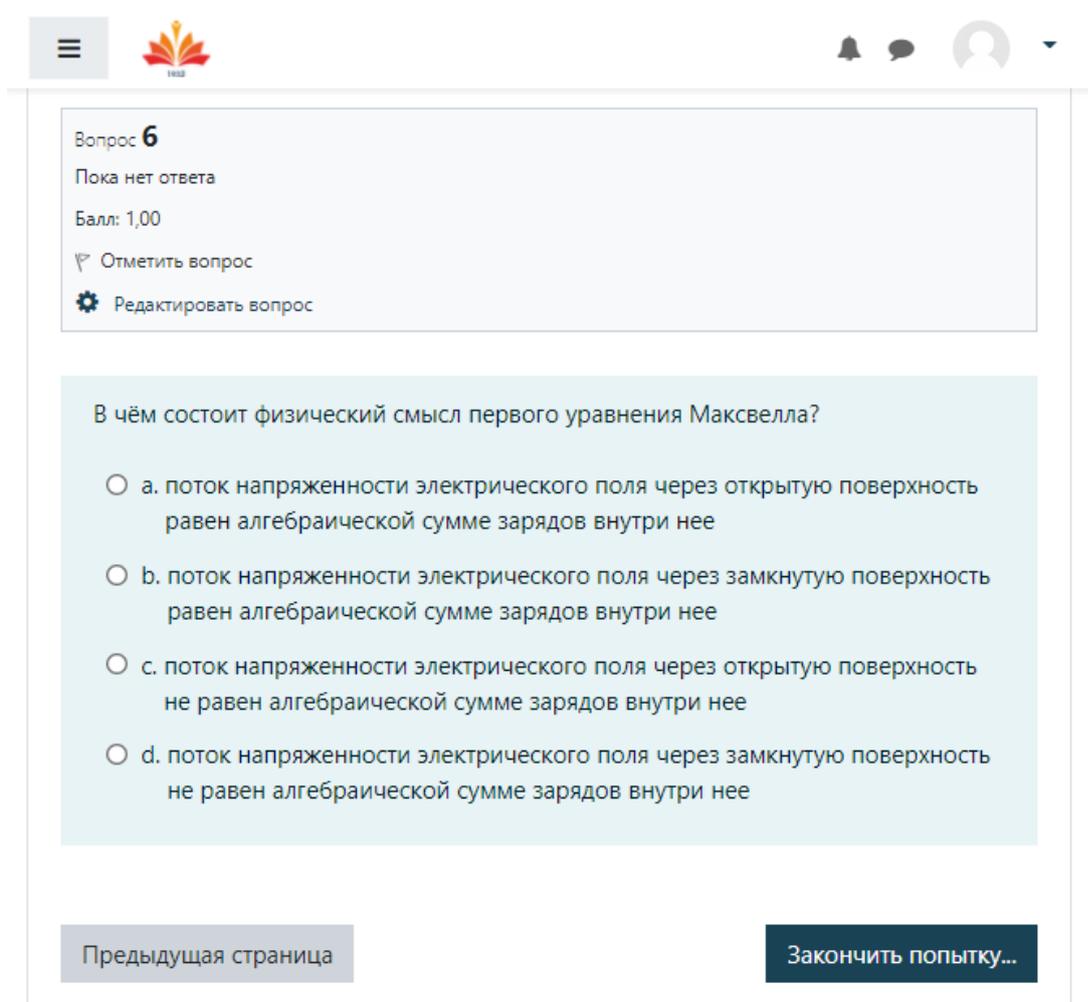


Рис. 18. Вопрос 6 из второго теста по второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

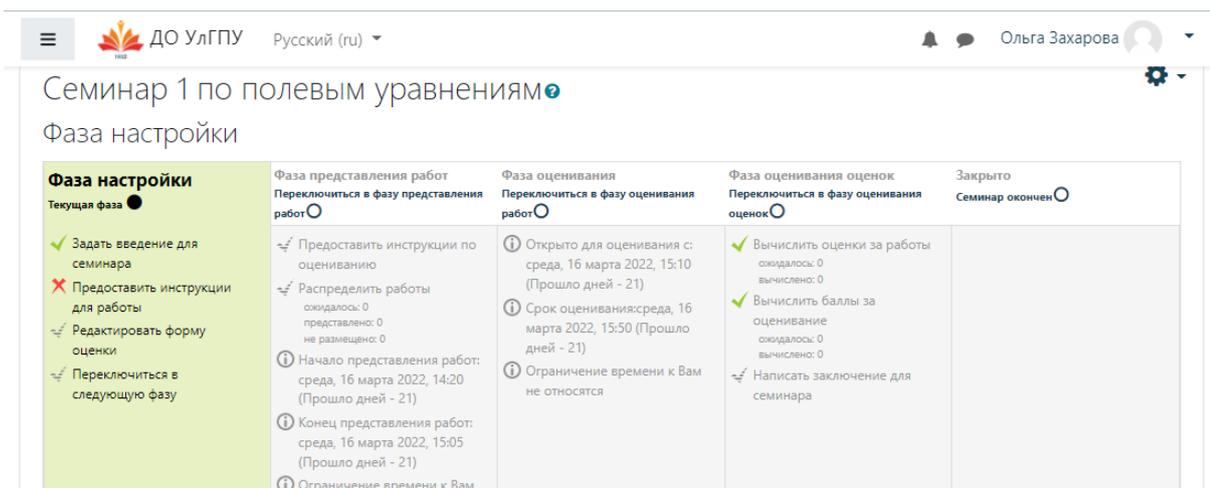


Рис. 19. Страница с настройками семинара 1 по полевым уравнениям Максвелла во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

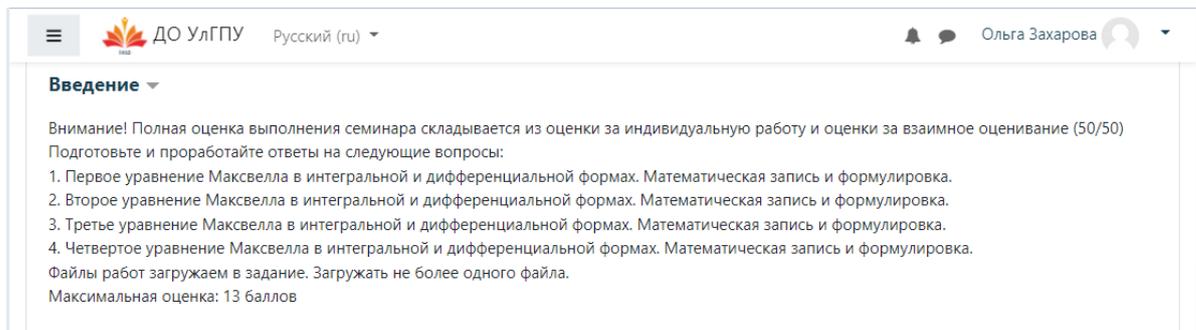


Рис. 20. Страница с вопросами семинара 1 по полевым уравнениям Максвелла во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды, в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

После выполнения wiki-элемента студентам предлагается решить задачи. В составе второй темы курса по оптоэлектронике создано два задания с задачами. Задача 1 связана с расчётом зависимости напряжённости электрического поля как функцию расстояния до центра однородного диэлектрического шара некоторого радиуса. Задача 2 связана с выводом закона сохранения электрического заряда из уравнений Максвелла. Установлены сроки сдачи задания, задания прикрепляются в файле. Задачи в курсе необходимы для того, чтобы студенты закрепляли и систематизировали знания по теме, связанной с изучением уравнений Максвелла, для совершенствования навыка решения задач, развивать вычислительные навыки, логическое мышление. Ограничение к прикрепляемым файлам в заданиях по объёму составляет 5 Мбайт.

Каждая задача во второй теме курса по оптоэлектронике оценивается в 12 баллов.

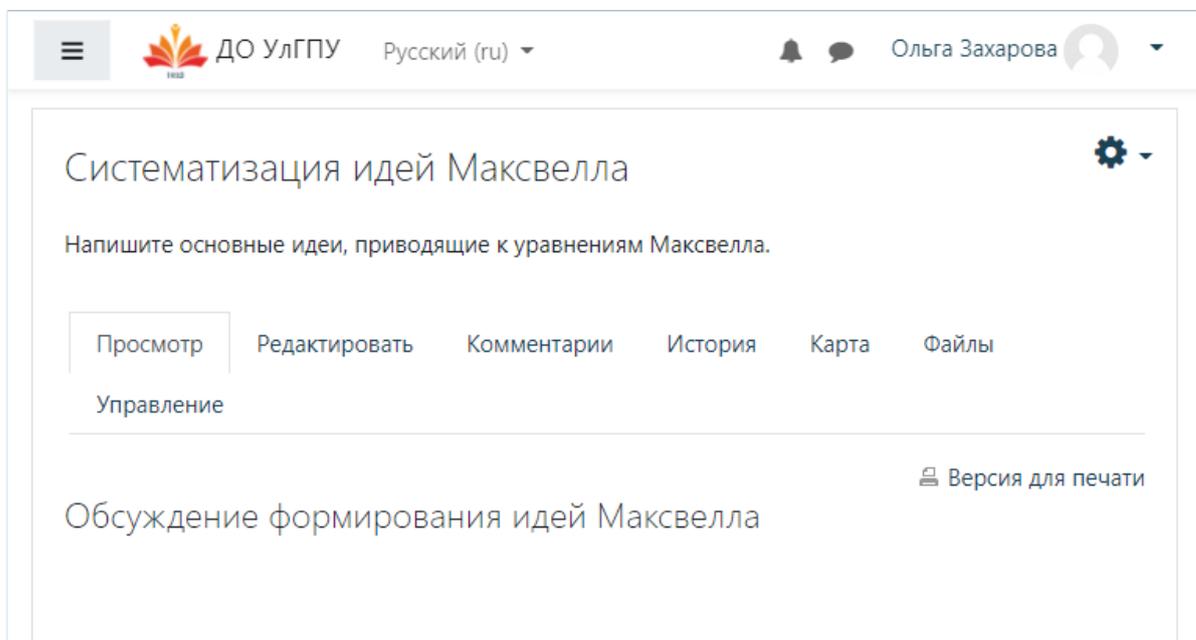


Рис. 21. Страница с wiki-элементом по полевым уравнениям Максвелла во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 21 приведено изображение страницы с wiki-элементом по полевым уравнениям Максвелла во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике.

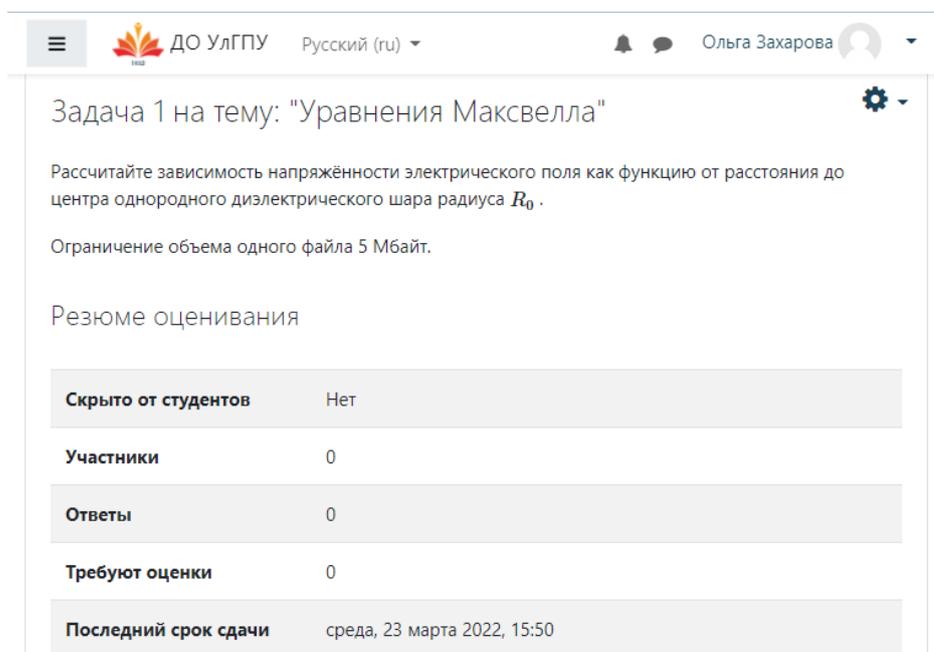


Рис. 22. Страница с задачей 1 во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 22 приведено изображение страницы с задачей 1 во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

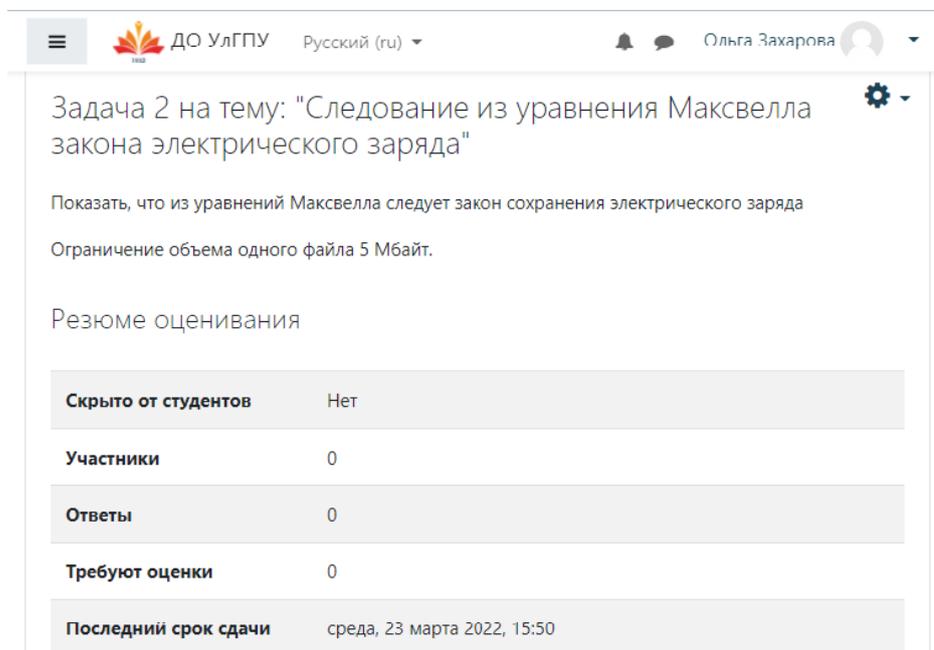


Рис. 23. Страница с задачей 2 во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 23 приведено изображение страницы с задачей 2 во второй теме, связанной с изучением уравнений Максвелла для диэлектрической среды в составе дистанционного курса по оптоэлектронике в системе MOODLE.

### Задача 1.

Найдите объёмное положение уровня Ферми  $\varphi_0$  в германии марки ГДА-10 при заданных температурах  $T_1 = 300$  К и  $T_2 = 77$  К. Рассчитайте положение уровня Ферми  $\varphi_0$  в приближении полностью ионизованной примеси в кремнии марки КЭФ-4.5 при температурах  $T_1 = 300$  К и  $T_2 = 77$  К.

Решение.

Рассмотрим первую часть задачи и решим её. В легированном полупроводнике  $p_0 \gg n_i$  положение уровня Ферми  $\varphi_0$  можно рассчитать по формуле  $\varphi_0 = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{p_0}{n_i} \right)$ . Концентрацию основных носителей  $p_0$  найдём, зная величину удельного сопротивления  $\rho = 10$  Ом·см, как  $\rho_0 = \frac{1}{qm\rho}$ .

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

По итогам разработки дистанционного курса по оптоэлектронике можно сделать вывод о наличии элементов для эффективного контроля знаний по оптоэлектронике в составе дистанционного курса в системе управления обучением MOODLE.

## Заключение

Курс по оптоэлектронике может быть использован при проведении очных занятий, занятий смешанной формы, дистанционных занятий. Систематизация теории по физическим основам оптоэлектроники позволила наполнить теоретическими материалами курс по оптоэлектронике. Разработаны элементы такие как лекция, тест, задание, семинар, вики для курса по оптоэлектронике, позволяющие контролировать усвоение знаний по физике от репродуктивного до творческого уровня. В составе курса по оптоэлектронике представлены элементы для проверки теоретических знаний по физическим основам оптоэлектроники, позволяющие организовать автоматизированную проверку знаний по физическим основам курса. Наполнен содержанием избранный модуль курса по оптоэлектронике, позволяющий контролировать усвоение знаний по оптоэлектронике от репродуктивного до творческого уровня.

Выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. созданные теоретические материалы курса по оптоэлектронике в системе управления обучения MOODLE позволяют проводить обучение по оптоэлектронике в дистанционной и смешанной формах обучения,
2. разработанная модульная структура курса по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE позволяет управлять продвижением студентов по курсу по оптоэлектронике,
3. разработанный дистанционный курс по оптоэлектронике готов к началу использования в учебном процессе бакалавриата педагогического направления подготовки с профилем по физике и математике.

Созданный в работе дистанционный курс позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по оптоэлектронике. Использование курса по оптоэлектронике способствует повышению эффективности самостоятельной работы, обеспечению визуализации процесса обучения, повышению эффективности управления обучением с использованием возможностей системы MOODLE.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если создать и использовать курс по оптоэлектронике, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения оптоэлектроники, то можно повысить познавательный интерес к курсу по оптоэлектронике и реализовать систему смешанного обучения оптоэлектронике, подтверждена полностью.

Созданный дистанционный курс по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE содержит элементы для эффективного контроля знаний по оптоэлектронике. Использование дистанционного курса по оптоэлектронике позволит реализовать обучение оптоэлектронике по смешанной технологии.

Созданный дистанционный курс по оптоэлектронике в системе управления обучением MOODLE может быть использован в учебном процессе бакалавриата педагогического направления подготовки с профилем по физике и математике, или в учебном процессе бакалавриата педагогического направления подготовки с профилем по физике и информатике, или в учебном процессе бакалавриата педагогического направления подготовки с профилем по физике и астрономии.

### Список использованных источников

1. Polarization-independent near-infrared superabsorption in transition metal dichalcogenide Huygens metasurfaces by degenerate critical coupling / Hongju Li [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — apr. — Vol. 105, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.165305>.
2. Extracting decay-rate ratios from photoluminescence quantum efficiency measurements in optoelectronic semiconductors / Alan R. Bowman [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — apr. — Vol. 17, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.044026>.
3. Direct polariton-to-electron tunneling in quantum cascade detectors operating in the strong light-matter coupling regime / M. Lagr e [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — apr. — Vol. 17, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.044021>.
4. Domain-wall p-n-junction in lithium niobate thin film on an insulator / Yuezhao Qian [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — . — Vol. 17, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.044011>.
5. Optically modulated tunneling current of dressed electrons in graphene and a dice lattice / Andrii Iurov [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — mar. — Vol. 105, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.115309>.
6. Wigner-Weyl description of light absorption in disordered semiconductor alloys using the localization landscape theory / Jean-Philippe Banon [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — mar. — Vol. 105, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.125422>.
7. Anisotropic and tunable optical conductivity of a two-dimensional semi-Dirac system in the presence of elliptically polarized radiation / H. Y. Zhang [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — mar. — Vol. 105, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.115423>.
8. Electronic structure of rare-earth semiconducting ErN thin films determined with synchrotron radiation photoemission spectroscopy and first-principles analysis /

- Krithika Upadhy [et al.] // Physical Review B. — 2022. — feb. — Vol. 105, no. 7. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.075138>.
9. Crossover between bulk and interface photovoltaic mechanisms in a ferroelectric vertical heterostructure / Amr Abdelsamie [et al.] // Physical Review Applied. — 2022. — feb. — Vol. 17, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.024047>.
  10. Zeder Simon, Ruhstaller Beat, Aeberhard Urs. Assessment of photon recycling in perovskite solar cells by fully coupled optoelectronic simulation // Physical Review Applied. — 2022. — jan. — Vol. 17, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.014023>.
  11. Zadehgol Abed. Introducing a lattice Boltzman time-domain method: a thermodynamics-based approach for simulating quantum effects // Physical Review E. — 2022. — jan. — Vol. 105, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreve.105.015307>.
  12. Microscopic understanding of ultrafast charge transfer in van der Waals heterostructures / R. Krause [et al.] // Physical Review Letters. — 2021. — dec. — Vol. 127, no. 27. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.127.276401>.
  13. Rosencher Emmanuel, Vinter Borge. Optoelectronics. — Cambridge University Press, 2002. — may. — URL: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511754647>.
  14. Румянцев Б. М., Береняев В. И., Пebaлк Д. В. Органические полимерные р-п-гетероструктуры для оптоэлектроники // Химическая физика. — 2014. — Т. 33, № 4. — С. 48.
  15. Буркова Е. Г., Бондина В. П. Исследование электрофизических параметров и характеристик элементов оптоэлектронных приборов в спецкурсе по оптоэлектронике // Евразийский союз ученых. — 2016. — № 1-3 (22). — С. 25–27.
  16. Новиков А. А., Прокопенко В. Т., Храмовский И. А. Оптические свойства шероховатой поверхности элементов оптоэлектроники // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. — 2004. — № 15. — С. 73–80.
  17. Протасова Л. Г. Исследование структуры и свойств халькогенидных стекол для оптоэлектроники // Известия Уральского государственного экономического университета. — 2003. — № 6. — С. 56–61.

**Сведения об авторах:**

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

E-mail: [zkhrvolly@gmail.com](mailto:zkhrvolly@gmail.com)

ORCID iD  0000-0003-4052-3212

Web of Science ResearcherID  ABB-9746-2021

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

O. N. Zakharova 

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

Submitted May 5, 2022

Resubmitted May 12, 2022

Published June 7, 2022

---

**Abstract.** The result of the development of a modular structure, theoretical materials, control elements of a distance course in optoelectronics created on the platform MOODLE is described. The process of creating a modular structure and materials for a distance course on optoelectronics in the learning management system MOODLE is considered. The distance course on optoelectronics contains information from optoelectronics, as well as a description of the original results on the description of systems, devices and devices of optoelectronics.

**Keywords:** optoelectronics, distance course, modular structure, theoretical materials, knowledge control elements, the learning management system MOODLE

PACS: 01.50.H-

---

## References

1. Polarization-independent near-infrared superabsorption in transition metal dichalcogenide Huygens metasurfaces by degenerate critical coupling / Hongju Li [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — apr. — Vol. 105, no. 16. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.165305>.
2. Extracting decay-rate ratios from photoluminescence quantum efficiency measurements in optoelectronic semiconductors / Alan R. Bowman [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — apr. — Vol. 17, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.044026>.
3. Direct polariton-to-electron tunneling in quantum cascade detectors operating in the strong light-matter coupling regime / M. Lagrée [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — apr. — Vol. 17, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.044021>.
4. Domain-wall p-n-junction in lithium niobate thin film on an insulator / Yuezhaoh Qian [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — . — Vol. 17, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.044011>.
5. Optically modulated tunneling current of dressed electrons in graphene and a dice lattice / Andrii Iurov [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — mar. — Vol. 105, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.115309>.
6. Wigner-Weyl description of light absorption in disordered semiconductor alloys using the localization landscape theory / Jean-Philippe Banon [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — mar. — Vol. 105, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.125422>.

7. Anisotropic and tunable optical conductivity of a two-dimensional semi-Dirac system in the presence of elliptically polarized radiation / H. Y. Zhang [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — mar. — Vol. 105, no. 11. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.115423>.
8. Electronic structure of rare-earth semiconducting ErN thin films determined with synchrotron radiation photoemission spectroscopy and first-principles analysis / Krithika Upadhyaya [et al.] // *Physical Review B*. — 2022. — feb. — Vol. 105, no. 7. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.075138>.
9. Crossover between bulk and interface photovoltaic mechanisms in a ferroelectric vertical heterostructure / Amr Abdelsamie [et al.] // *Physical Review Applied*. — 2022. — feb. — Vol. 17, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.024047>.
10. Zeder Simon, Ruhstaller Beat, Aeberhard Urs. Assessment of photon recycling in perovskite solar cells by fully coupled optoelectronic simulation // *Physical Review Applied*. — 2022. — jan. — Vol. 17, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.17.014023>.
11. Zadehgol Abed. Introducing a lattice Boltzman time-domain method: a thermodynamics-based approach for simulating quantum effects // *Physical Review E*. — 2022. — jan. — Vol. 105, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1103/physreve.105.015307>.
12. Microscopic understanding of ultrafast charge transfer in van der Waals heterostructures / R. Krause [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2021. — dec. — Vol. 127, no. 27. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.127.276401>.
13. Rosencher Emmanuel, Vinter Borge. *Optoelectronics*. — Cambridge University Press, 2002. — may. — URL: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511754647>.
14. Rumyantsev B. M., Berenyaev V. I., Pebalk D. V. Organic polymer p-n-heterostructures for optoelectronics // *Chemical Physics*. — 2014. — Vol. 33, no. 4. — P. 48.
15. Burkova E. G., Bondina V. P. Study of electrophysical parameters and characteristics of elements of optoelectronic devices in a special course on optoelectronics // *Eurasian Union of Scientists*. — 2016. — no. 1-3 (22). — P. 25–27.
16. Novikov A. A., Prokopenko V. T., Khramtsovsky I. A. Optical properties of the rough surface of optoelectronics elements // *Scientific and technical bulletin of the St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics*. — 2004. — no. 15. — P. 73–80.
17. Protasova L. G. Study of the structure and properties of chalcogenide glasses for optoelectronics // *Proceedings of the Ural State University of Economics*. — 2003. — no. 6. — P. 56–61.

#### Information about authors:

**Olga Nikolaevna Zakharova** — 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: [zkhrvolly@gmail.com](mailto:zkhrvolly@gmail.com)

ORCID iD  0000-0003-4052-3212

Web of Science ResearcherID  ABB-9746-2021