

УДК 378.147
ББК 74.489
ГРНТИ 14.35.19
ВАК 13.00.02

Исследование научно-методических основ деятельности кружка по нанотехнологии и наноплазмоники в университете

О. В. Тырлышкина  ¹

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

Поступила в редакцию 16 ноября 2020 года
После переработки 23 ноября 2020 года
Опубликована 12 декабря 2020 года

Аннотация. Рассматриваются теоретические и методические проблемы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники. Проведён всесторонний анализ системы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники на старших курсах бакалавриата педагогического университета. Проведено описание развития и результатов деятельности кружка по нанотехнологиям и наноплазмоники в педагогическом университете. Проанализированы результаты деятельности и публикационной активности участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоники в университете за период с 2014 по 2020 годы.

Ключевые слова: кружковое движение, система проектных работ по нанотехнологии, нанотехнология, наноплазмоники, наноструктура, наноптика, наноплёнка, наноконформит, наноматериал, поверхностный плазмон-поляритон, биосенсор, электромагнитная волна, колебания, световая волна, полное внутреннее отражение, плазмонный резонанс

Введение

В настоящей работе рассматриваются теоретические и методические проблемы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники. Проанализированы результаты деятельности и публикационной активности участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоники в университете.

Целью работы является исследование системы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники. Задачей работы является исследование методических аспектов системы нанотехнологической подготовки в педагогическом университете в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники на примере нескольких лет деятельности кружка.

Объектом исследования являются процесс обучения физико-техническим основам нанотехнологии и наноплазмоники в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоники в педагогическом университете.

¹E-mail: olya.t1308@gmail.com

Предметом исследования является процесс формирования умения написания и защиты квалификационных работ по физике в рамках кружка по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете.

Гипотеза исследования заключается в том, что если осуществлять кружковую деятельность по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете, то можно повысить уровень знаний по нанотехнологии и интерес студентов к тематике.

В качестве метода исследования используется наблюдение в ходе педагогического эксперимента за результатами деятельности кружка по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете.

В качестве материалов исследования используются материалы годовых отчётов о научно-исследовательской работе и научно-исследовательской работе студентов кафедры физики и технических дисциплин с 2014 года по 2020 год.

В настоящее время технологические кружки становятся одним из ключевых элементов зарождающейся системы работы с молодым поколением. Кружки как форма объединения единомышленников, желающих изучать физические основы нанотехнологии, пробовать свои силы в фундаментальной и прикладной физике, — это необходимая часть обучения для поддержания интереса студентов к творчеству, а также для осознанного выбора и самоопределения молодежи. В свою очередь, данный вид занятий не только обучает, но и производит новейшие решения современных фундаментальных и прикладных проблем в области нанотехнологий и наноплазмоники, ведь каждый участник кружка стремится создать что-то нужное для других людей.

Обзор

Уже несколько десятков лет интенсивно развиваются нанотехнологии для получения различных наночастиц, приборов и устройств, созданных на основе наночастиц. Нанотехнологии являются новым направлением науки и техники, которое активно развивается в настоящее время. Направление исследования нанотехнологий включает в себя создание и использование материалов, устройств, работа которых определяется наноструктурой. Практически невозможно перечислить все области, в которых эта глобальная технология может существенно повлиять на технический прогресс. Приведём пример лишь некоторых из этих областей: элементы нанoeлектроники, нанофотоники, нанолитографии, наноимпринтинга; телекоммуникационные, информационные и вычислительные технологии. Нанотехнология позволяет контролировать размер частиц и, таким образом, улучшать свойства материала. Миниатюризация схем приводит к созданию новейших объектов. Последние достижения в области нанотехнологий позволяют изготавливать оптические метаматериалы, принося им уникальные и необычные свойства. Однако аналитическое описание оптических наноплазмонных метаматериалов является сложной задачей из-за характерных оптических свойств металлов.

Наноплазмоне представляет собой область нанооптики, изучающая оптические свойства и физические явления, возникающие в результате колебаний электронов в металлических наночастицах, наноструктурах и наносистемах, а также взаимодействие этих колебаний со световыми волнами в различных наносистемах [1–3].

Наноплазмоне имеет дело с локализованными поверхностными плазмонными резонансами в металлических наночастицах, металл-диэлектрических наноструктурах и планарных границах раздела металл-диэлектрик, является быстро развивающейся областью и в последнее время интенсивно исследуется из-за фундаментальных интересов и многочисленных потенциальных приложений. Плазмонные технологии изготовления оптоэлектронных устройств могут заменить традиционные технологии, используемые в современных компьютерах и других вычислительных технологиях [4].

Плазмоны представляют собой квазичастицы, которые вводятся для теоретического

описания в рамках одночастичной модели физики твёрдого тела для описания колебаний свободных электронов в металлических средах. При возбуждении объёмных плазмонов в металлических средах возникает плазмонный резонанс, который был впервые предсказан Ми в начале двадцатого века. При возбуждении объёмных плазмонов в металлических наноструктурах возникает размерный плазмонный резонанс, который является проявлением квантовой локализации движения плазмонов. В результате оценочного расчёта для наночастицы серебра сферической формы, обладающей диаметром 50 нм, установлено, что длина волны плазмонного резонанса приближённо равно 400 нм. Поэтому наличие металлических наночастиц в нанокompозитных материалах можно регистрировать далеко за границами дифракционного предела при длине волны излучения много больше размеров металлической наночастицы. В наноплазмонике возможно передавать оптическое излучение вдоль цепочки металлических наночастиц с помощью возбуждения плазмонных колебаний в нанокompозитных структурах.

Плазмонные наносистемы предоставили возможность макроскопического исследования эффектов, которые, как правило, ограничены микроскопической областью, позволяя явления, выходящие за рамки классической электродинамики. Вместе с постоянным развитием нанотехнологического производства и методов измерения это сделало наноплазмонику центром растущего числа новых и революционных приложений в медицине, обработке информации, сборе энергии и зондировании. Таким образом, за последнее десятилетие были предприняты огромные усилия по моделированию и экспериментальному исследованию нелокальных, нелинейных и квантово-оптических эффектов, вытеснив плазмонику на неизведанную территорию.

Исследование плазмон-поляритонов на границе раздела с нанокompозитами является перспективным направлением исследования для приложений в медицине. Широкое распространение получили наноматериалы, частицы которых нацелены на доставку лекарств и полезных веществ к клеткам органов, а также на создание мышц и костей. Так же большую роль играют в энергомашиностроении, авиационной и даже космической промышленности. Представляет значительный практический интерес использование поверхностных плазмонов-поляритонов для разработки модуляторов света и биосенсоров. При совпадении частоты внешнего поля с частотой локализованного поверхностного плазмона возникает резонанс, приводящий к резкому усилению поля на поверхности частицы и увеличению сечения поглощения. Разработка эффективных и перестраиваемых (по энергии фотонов и направленности поляризации) наноразмерных излучателей света является главной задачей для нанопотоники и наноплазмоники. Поле плазмонных метаматериалов унаследовало бесценное наследие от атомной физики для интерпретации нетривиальных форм спектральных линий [5, 6]. Плазмонные устройства представляют ценные платформы для широкого спектра новых схем для молекулярного детектирования. Среди таких приложений весьма перспективными являются биосенсоры [7], особенно с точки зрения технологий изготовления оптоэлектронных чипов. Идея создания биосенсора существует уже несколько десятков лет. Впервые эту идею выдвинули Кларк и Лионс в 1967 году. Идея Кларка включала в себя использование ферментного электрода, то есть электрохимического датчика с иммобилизованным на его поверхности ферментом. За прошедшие года, вплоть до нашего времени, эта идея получила достаточное, в какой-то степени большое развитие, так как именно в настоящее время развитие данной области науки стремительно прорывается вперёд. Работа устройства биосенсора заключается в анализе биологических жидкостей. За очень короткий промежуток времени оборудование эффективно и быстро перерабатывает и считывает живые клетки количественно определяя концентрацию того или иного соединения. Так же имеет большое практическое значение для разработок в оптической спектроскопии, нелинейной оптике, микроскопии высокого разрешения [4, 8].

Описание деятельности кружка

Область нанотехнологий и наноплазмоники является актуальной для изучения, поскольку наноструктуры, наноплёнки и нанокompозиты занимают одно из главных мест из материалов, на которые возложен взгляд в будущее, и применяются уже сейчас в большинстве отраслей промышленности, а главное в таких сферах человеческой деятельности, как медицина, электроника, военное дело. Оптические эффекты плазмон-поляритонов, эффекты их взаимодействия и возбуждения, уже применяются в новых приборах, следует только догадываться, к каким совершенствам это может привести в будущем. Кружок является одним из наиболее распространенных видов групповой внеклассной деятельности, который даёт преподавателю возможность использовать разнообразные формы и методы работы со студентами. Поэтому работа кружка по нанотехнологиям и наноплазмонике в педагогическом университете была признана необходимой для успешного выполнения курсовых и квалификационных работ студентами, специализирующимися в физике. Задумываясь о прикладной значимости темы, в первую очередь, нужно сказать о том, что большинство результатов, разработанных студентами, будут пригодны для дальнейшего практического использования, ведь вся теория, преподнесённая преподавателями, должна быть проверена и точна.

Занятия в кружках осуществляются по подгруппам. Занятие в кружке по нанотехнологиям и наноплазмонике являются полноценной формой работы студентов, помогающей научиться сотрудничать и повышать свой уровень фундаментальных и прикладных знаний в области физических основ нанотехнологий и наноплазмоники.

В ходе работы кружка преподаватель регулирует порядок работы кружка, контролирует результаты деятельности студентов, отвечает на вопросы, и в экстренных случаях оказывать помощь отдельным студентам или подгруппе студентов в целом. Возбуждение интереса к нанотехнологиям осуществляется через наглядное представление материалов по нанотехнологиям и возможность численного исследования новых закономерностей мира наноструктур и наносистем.

В первой половине первого семестра изучаются основы физики наноструктур и наноплазмоники. Во второй половине первого семестра изучаются основы синтаксиса языков программирования и пакетов прикладных программ, необходимые для численных расчётов физических величин наноплазмоники и построения графиков функциональных зависимостей.

В первой половине второго семестра осуществляется компьютерное моделирование физических процессов в наноплазмонных системах с помощью изученных ранее языков программирования и пакетов прикладных программ. Во второй половине второго семестра осуществляется анализ полученных численных результатов в результате компьютерного моделирования физических процессов в наноплазмонных системах с помощью языков программирования и пакетов прикладных программ. Во второй половине второго семестра завершается написание курсовых работ и квалификационных работ по физике.

На стадии целеполагания осуществляется постановка цели курсовой или квалификационной работы по физике на основе соотнесения того, что уже известно и усвоено из курсов общей физики и теоретической физики, с тем, что ещё не известно из выбранной узкой темы в области нанотехнологий и наноплазмоники. На стадии целеполагания с помощью численных экспериментов исследовать физические свойства объектов и процесс протекания физических явлений в наноплазмонных структурах.

На стадии классификации осуществляется написание обзора литературы по наноплазмонным системам, производится выбор оснований и критериев для сравнения различных моделей для описания наноплазмонных систем. На стадии классификации необходимо дать определения всем необходимым понятиям наноплазмоники.

На стадии выдвижения и обоснования гипотез осуществляется сравнение фактов в области наноплазмоники, установление причинно-следственных связей между моделями и величинами наноплазмоники, построение логической цепи рассуждений для решения основных уравнений наноплазмоники, анализ теорий и моделей наноплазмоники, синтез подходов к описанию наноплазмонных систем. На стадии выдвижения и обоснования гипотез формируется умение организовывать исследование с целью проверки гипотез, объяснять физические явления, физические процессы в наноплазмонных системах, аргументировано делать умозаключения.

На стадии планирования осуществляется определение последовательности действий студента с учётом конечного результата курсовой работы или квалификационной работы по физике. На стадии планирования производится расчёт зависимостей физических величин, определяющих характеристики наноплазмонной системы. Рассчитываются физические величины для описания наноплазмонной системы в результате теоретического и численного анализа известных физических формул наноплазмоники.

На стадии прогнозирования осуществляется предвосхищение результата, который может быть получен в результате численного моделирования наноплазмонных систем посредством управления переменными величинами. На стадии прогнозирования осуществляется поиск пар физических величин, характеризующих наноплазмонную систему, между которыми может быть функциональная зависимость.

На стадии моделирования осуществляется преобразование физического объекта в математическую модель, где выделены существенные характеристики наноплазмонной системы. На стадии моделирования необходимо создавать и преобразовывать модели и схемы для решения задач описания наноплазмонных систем.

На стадии структурирования осуществляется поиск необходимой информации по теоретическому описанию и компьютерным моделям наноплазмонных систем. На стадии структурирования необходимо методов информационного поиска теоретической информации для описания наноплазмонных систем. На стадии структурирования формируется умение адекватно, подробно, сжато и выборочно передавать содержание текста.

На стадии контроля осуществляется сличение результатов численных расчётов физических характеристик наноплазмонных систем с экспериментальными результатами и результатами других расчётов с целью обнаружения отклонений результатов от эталонных данных. На стадии контроля необходимо интерпретировать теоретические и экспериментальные данные по наноплазмонным системам, в том числе раскрыть значение и физический смысл данных и результатов расчётов физических характеристик наноплазмонных систем, сделать теоретические выводы на основе физических законов наноплазмоники и оптики наноструктур, произвести оценку полученных результатов.

На стадии коррекции осуществляется внесение дополнений и корректив в план исследований и способ моделирования физических явлений в наноплазмонных системах, в случае расхождения с эталоном. На стадии коррекции можно предложить альтернативный способ расчёта физической величины или численного исследования физического явления в наноплазмонных системах.

На стадии оценки осуществляется выделение и осознание того, что уже усвоено по исследуемой наноплазмонной системе с тем, что ещё подлежит усвоению. На стадии оценки нужно сделать заключения на основе достигнутых результатов моделирования наноплазмонных систем, систематизации и классификации полученных результатов расчётов физических характеристик наноплазмонных систем. На стадии оценки выделяются физические явления и факты, подлежащие дальнейшему исследованию.

Педагогический эксперимент

В ходе педагогического эксперимента проводилось наблюдение за деятельностью кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне на кафедре физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова». Состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне составляют студенты старших курсов бакалавриата и магистратуры педагогического направления подготовки, специализирующиеся в области физики. Занятия кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне проводятся по 2 часа в неделю за исключением каникул. Занятия кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне дополняют имеющиеся аудиторные занятия по нанотехнологиям и наноплазмоне в рамках дисциплин по выбору. Занятия кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне дополнялись заседаниями научно-методического семинара кафедры физики и технических дисциплин, где обсуждались результаты курсовых и квалификационных работ студентов бакалавриата, заслушивались доклады студентов очной магистратуры и аспирантов.

Проанализируем результаты деятельности кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне за 2014-2021 годы. В 2014 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 8 человек, которые опубликовали 18 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2015 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 10 человек, которые опубликовали 2 научные работы в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2016 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 27 человек, которые опубликовали 8 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2017 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 26 человек, которые опубликовали 19 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2018 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 24 человека, которые опубликовали 31 научную работу в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2019 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 21 человек, которые опубликовали 23 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. В 2019 году один участник кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне опубликовал статью в журнале «Радиоэлектронная техника». В 2020 году в состав кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне входили 35 человек, которые опубликовали 6 научных работ в ходе выполнения курсовых работ и квалификационных работ по физике. Основные публикации составляли публикации в материалах Всероссийских конференций и региональных конференций по физике и электронике, которые представлены на сайте Научной электронной библиотеки elibrary.ru. Участники кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне активно участвовали во внутривузовских конференциях, проводимых в рамках недели науки на факультете физико-математического и технологического образования.

Результаты теоретической части работ участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне докладывались на конференции «Современные проблемы электродинамики наноструктурных сред и наноплазмоники» 6 апреля 2019 года, на конференции «Наноплазмоника и фотовольтаика» 10 апреля 2019 года в рамках недели науки на факультете физико-математического и технологического образования.

Результаты научно-методической части работ участников кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне докладывались на конференции «Современные достижения науки и педагогической практики в системе высшего и среднего образования» 29 октября 2019 года.

Результаты теоретической и самостоятельной части работ участников кружка по

нанотехнологиям и наноплазмоне докладывались на научной школе-семинаре “Актуальные проблемы физики и астрономии” 12-17 октября 2020 года, на конференции “Фундаментальные и прикладные проблемы нанотехнологий” 12-17 ноября 2020 года в рамках недель науки на факультете физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова».

Для работы с нанотехнологической тематикой студенты должны обладать значительным запасом фундаментальных знаний по физике и наноэлектронике. Ориентируясь на известные теоретические и численные методы классической, нелинейной и квантовой оптики для сплошных и нанокompозитных сред из наноплазмонных материалов, в какой-то степени, обрабатывая опыт прошлых лет, дорабатывая уже имеющиеся выводы, теории, можно разработать множество проектов для усовершенствования и увеличения количества применений наноматериалов в обычной жизни. Так как разработка, реализация, проверка таких проектов на работоспособность требует больших затрат, предлагается использование языков программирования Python, R, Octave, C, D. Данные языки программирования позволяют осуществлять численные расчёты характеристик физических процессов в наноструктурах и наносистемах.

Заключение

В кружке по нанотехнологиям и наноплазмоне реализуется интенсивное развитие личности студента за счёт организации активной познавательной деятельности в области нанотехнологий и наноэлектроники путём развития символического и предметного мышления. Познание законов мира наносистем происходит в процессе активной познавательной деятельности студентов в рамках взаимодействия на занятиях кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне. Численные эксперименты по расчёту характеристик физических явлений предлагается студентам выполнять самостоятельно по заданию преподавателя, а затем обсуждать результаты на занятиях кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне. Успешному изучению физических основ нанотехнологий и наноплазмоники способствует участие в беседах и спорах при обсуждении результатов численных экспериментов по расчёту характеристик физических явлений в наноструктурах и наносистемах.

Все приобретённые знания, умения и навыки исследовательской деятельности в области физики и нанотехнологии получают дальнейшее развитие в профессиональной деятельности выпускников при разработке проектов в разных областях профессиональной деятельности.

Все участники кружка по нанотехнологиям и наноплазмоне успешно защищали курсовые работы по физике, курсовые работы по методике преподавания физики и выпускные квалификационные работы по физике.

Гипотеза исследования, заключающаяся в том, что если осуществлять кружковую деятельность по нанотехнологии и наноплазмоне в педагогическом университете, то можно повысить уровень знаний по нанотехнологии и интерес студентов к тематике, подтверждена полностью.

Кружковое движение помогает решить задачу формирования в стране следующих поколений инженеров, учёных, предпринимателей с высоким уровнем профессионализма, способных разрабатывать и реализовывать новые научно-технологические проекты, ведущих их к высоким прикладным результатам и направленные на развитие нанотехнологий.

Исследования по тематике, связанной с нанотехнологиями, дадут огромный толчок для самоопределения студентов, и в будущем, реализуя проекты, они смогут внести свой вклад в развитие нанотехнологической промышленности.

Список использованных источников

1. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Под ред. В. М. Аграновича, Д. Л. Миллса. — Москва : Наука, 1985. — 525 с.
2. Климов В. В. Наноплазмоника. — Москва : Физматлит, 2010. — 479 с.
3. Андрианов Е. С., Виноградов А. П., Дорофеев А. В. Квантовая наноплазмоника : учебное пособие. — Долгопрудный : Интеллект, 2015. — 368 с.
4. Аракелян С. М., Кучерик А. О., Прокошев В. Г. Введение в фемтонаноплатонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие. — Москва : Логос, 2020. — 744 с.
5. Майер С. А. Плазмоника: теория и приложения. — Москва-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. — 277 с.
6. Астапенко В. А. Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоника и метаматериалы : учебное пособие. — Долгопрудный : Интеллект, 2012. — 584 с.
7. Сидоров А. И. Сенсорная фотоника : учебное пособие. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. — 99 с.
8. Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики. — Москва : Физматлит, 2009. — 484 с.

Сведения об авторах:


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

E-mail: olya.t1308@gmail.com

ORCID iD  0000-0002-2738-242X

Web of Science ResearcherID  AAZ-9000-2020

Investigation of the scientific and methodological foundations of the activities of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the university

O. V. Tyrlyshkina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted November 16, 2020

Resubmitted November 23, 2020

Published December 12, 2020

Abstract. The theoretical and methodological problems of nanotechnological training at the Pedagogical University in the framework of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics are considered. A comprehensive analysis of the system of nanotechnological training at the Pedagogical University in the framework of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the senior undergraduate courses of the Ulyanovsk State Pedagogical University has been carried out. The description of the development and results of the activities of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the Pedagogical University is carried out. The results of the activity and publication activity of the participants of the circle on nanotechnology and nanoplasmonics at the university for the period from 2014 to 2020 are analyzed.

Keywords: circle movement, system of design work on nanotechnology, nanotechnology, nanoplasmonics, nanostructure, nanoptics, nanofilm, nanocomposite, nanomaterial, surface plasmon-polariton, biosensor, electromagnetic wave, oscillations, light wave, total internal reflection, plasmon resonance

PACS: 01.40.d


References

1. Novotny L., Hecht B. Fundamentals of nano-optics. — Moscow : Fizmatlit, 2009. — 484 p.
2. Klimov B. V. Nanoplasmonics. — Moscow : Fizmatlit, 2010. — 479 p.
3. Agranovich V. M., Mills D. L. Surface polaritons: electromagnetic waves at surfaces and interfaces. — North-Holland, Amsterdam : Elsevier Science Ltd, 1982. — 734 p.
4. Mayer C. A. Plasmonics: theory and applications. — Moscow-Izhevsk : SIC “Regular and chaotic dynamics”, 2011. — 277 p.
5. Sidorov A. I. Sensory photonics: a tutorial. — St. Petersburg : ITMO University, 2019. — 99 p.
6. Astapenko B. A. Electromagnetic processes in a medium, nanoplasmonics and metamaterials: a tutorial. — Dolgoprudny : Intellect, 2012. — 584 p.
7. Andrianov E. S., Vinogradov A. P., Dorofeenko A. V. Quantum nanoplasmonics: a tutorial. — Dolgoprudny : Intellect, 2015. — 368 p.
8. Arakelyan C. M., Kucherik A. O., Prokoshev V. G. Introduction to femtonanophotonics: fundamentals and laser methods of controlled production and diagnostics of nanostructured materials: a study guide. — Moscow : Logos, 2020. — 744 p.

Information about authors:

Olga Vladimirovna Tyrlyshkina – student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: olya.t1308@gmail.com

ORCID iD  0000-0002-2738-242X

Web of Science ResearcherID  AAZ-9000-2020