

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

  
\_\_\_\_\_  
О.И. Чуприс

  
\_\_\_\_\_  
Регистрационный № 1-5587/уч.

**НАНОФОТОНИКА**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для второй ступени высшего образования  
по специальности 1-31 81 02 Фотоника**

Минск 2018 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСРБ 1-3181 02-2012; учебного плана №G31-240/уч. от 26.05.2017 г. и №G31-038/уч. от 26.05.2017 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

О.Г. Романов — заведующий кафедрой компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 18 от 22 июня 2018 г.);  
Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета (протокол № 7 от 13 июля 2018 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины «Нанопотоника» разработана для второй ступени высшего образования (магистратуры) с углубленной подготовкой специалиста по направлению 1-31 81 02 – Фотоника (1 год – учебный план №G31-038/уч.; 2 года – учебный план №G31-240/уч.). Дисциплина относится к циклу дисциплин специальной подготовки компонента УВО.

**Целью** учебной дисциплины является освоение физических основ принципов и методов фотоники и оптики наноструктур, на уровне, достаточном для дальнейшего самостоятельного совершенствования в одном из направлений этой научной дисциплины.

**Основная задача** учебной дисциплины – усвоение современных представлений об основных физико-математических моделях, лежащих в основе процессов взаимодействия оптического излучения с нанообъектами, изучение технологий изготовления наноструктур и современных областей их применения.

Нанопотоника – область фотоники, связанная с разработкой архитектур и технологий производства наноструктурированных устройств генерации, усиления, модуляции, передачи и детектирования электромагнитного излучения и приборов на основе таких устройств, а также с изучением физических явлений, определяющих функционирование наноструктурированных устройств и протекающих при взаимодействии фотонов с наноразмерными объектами. К этому направлению относятся физические основы генерации и поглощения излучения в различных диапазонах, полупроводниковые источники и детекторы электромагнитного излучения, наноструктурированные оптические волокна и устройства на их основе, светодиоды, твердотельные и органические лазеры, элементы фотоники и коротковолновой нелинейной оптики. В результате изучения дисциплины магистрант должен

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

**знать:**

- классификацию наноструктур и методы их изготовления;
- основные закономерности взаимодействия оптического излучения с наноструктурами;
- основные механизмы взаимодействия лазерного излучения с веществом и методы моделирования данных процессов;

**уметь:**

- разрабатывать физико-математические и численные модели для решения задач распространения лазерного излучения в фотонных структурах;
- анализировать спектры поглощения и рассеяния наночастиц и кластеров;
- производить вычисления спектров отражения и пропускания одномерных, двумерных и трехмерных фотонных кристаллов

**владеть:**

- методами спектрального анализа наноструктур;
- навыками теоретического исследования закономерностей формирования спектральных характеристик наноструктур.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

**академических компетенций** – углубленных научно-теоретических, методологических знаний и исследовательских умений, обеспечивающих разработку научно-исследовательских проектов или решение задач научного исследования, инновационной деятельности, постоянного самообразования и самосовершенствования;

**социально-личностных компетенций** – умений и личностных качеств следовать культурным, идеологическим и нравственным ценностям общества и государства; способностей к адекватному взаимодействию и межличностной коммуникации, критическому мышлению; мобильности и социальной адаптивности, позволяющих решать социально-профессиональные, организационно-управленческие, в том числе воспитательные задачи;

**профессиональных компетенций** – углубленных знаний по специальным дисциплинам и умений решать сложные профессиональные задачи, разрабатывать и внедрять инновационные проекты, решать задачи научно-педагогической деятельности.

Программа дисциплины основывается на знаниях и представлениях, полученных при изучении дисциплин «Молекулярная спектроскопия и люминесценция» и «Лазерные системы», «Когерентная оптика и голография».

Программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Общее количество часов – 158; аудиторное количество часов – 60, из них: лекции – 40, практические – 16, аудиторный контроль УСП – 4.

Форма получения высшего образования — очная, дневная. Занятия проводятся на 2-ом курсе в 3-ом семестре. Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен (4 зачетных единицы).

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

**1. Введение в нанопотонику.** Предмет нанопотоники. Основные размерные эффекты в наноструктурах.

**2. Оптические аналогии квантовых явлений.** От волновой оптики к волновой механике (из истории создания квантовой механики). Изоморфизм уравнений Шредингера и Гельмгольца. Движение над ямами и барьерами. Туннелирование в квантовой механике и оптике. Резонансное туннелирование в структурах с двумя барьерами. Многоямные потенциалы: расщепление уровней и образование зон. Аналогии и отличия: интенсивность и вероятность, электроны и фотоны. От квантовой механики к нанопотонике. Методы численного решения волновых уравнений. Численное моделирование нестационарного уравнения Шредингера и системы уравнений Максвелла: практическая реализация. Распространение световых импульсов в одномерных слоистых средах: практическая реализация FDTD-методом. Резонансное туннелирование в структурах с двумя барьерами: практическая реализация FDTD-методом.

**3. Наноструктуры.** Классификация наноструктур. Нанокластеры. Нульмерные, одномерные, тубулярные, двумерные и трехмерные наноструктуры. Физические свойства нанокластеров.

**4. Методы получения и современные области применения наноматериалов.** Классификация методов синтеза наноматериалов. Физические и химические методы синтеза. Методы разделения наночастиц по размерам. Процессы самосборки в наносистемах. Синтез наночастиц в аморфных и упорядоченных матрицах. Нанолитография. Микро- и нанoeлектромеханические наноустройства. Нанoeлектроника. Наносенсорика. Фотоника и нанопотоника. Квантовые компьютеры. Молекулярная электроника. Материалы для бионанотехнологий.

**5. Фотонные кристаллы.** Размерность фотонных кристаллов: одномерные, двумерные и трехмерные периодические структуры. Методы формирования фотонных кристаллов. Фотонные запрещенные зоны. Основы теории фотонных кристаллов. Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Материалы на основе фотонных кристаллов. Области применения. Нелинейные эффекты в фотонных кристаллах. Испускание и рассеяние излучения в фотонных кристаллах. Интегральная и локальная плотность фотонных состояний. Методы прямого численного решения уравнений Максвелла. Примеры решений для одномерных и двумерных структур. Моделирование распространения света в периодических, квазипериодических и лабиринтных фотонных структурах. Продольно-периодические структуры. Основы модовой теории распространения света в связанных волноводах. Понятие дискретной дифракции. Нелинейно-оптические явления: самофокусировка в периодических структурах, параметрическое взаимодействие световых волн, оптические солитоны. Моделирование распространения света в системах связанных волноводов.

**6. Наноплазмоника.** Введение в электродинамику металлов. Теория Друде-Зомерфельда оптических свойств металлов. Оптические свойства реальных металлов. Плазмоны. Оптические свойства сферических наночастиц. Зависимость поглощения и рассеяния от размеров наночастиц. Поверхностные плазмоны: Одномерные и двумерные поверхностные плазмоны. Методы возбуждения поверхностных плазмонов. Нелинейно-оптические свойства металлических наночастиц. Приложения наноплазмоники: Терапия и визуализация опухолей с помощью наночастиц. Биосенсоры на поверхностных и локализованных плазмонах. Спектроскопия отдельных плазмонных наночастиц. Элементная база интегральных схем на плазмонах. Оптические свойства сферических наночастиц. Расчет структуры электромагнитного поля вблизи поверхности металлических наночастиц. Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на металлические наноструктуры: двухтемпературная модель нагрева, возбуждение акустических колебаний.

**7. Оптические свойства полупроводниковых наночастиц и структур.** Квантоворазмерный эффект. Спектры поглощения полупроводниковых наночастиц. Оптика квантовых ям и сверхрешеток. Классификация гетероструктур. Размерное квантование электронных состояний. Применения квантовых точек: лазеры для волоконной связи, квантовые точки в биологии и медицине. Резонансное отражение и поглощение света в структурах с квантовыми ямами. Квантовые микрорезонаторы. Оптика квантовых нитей и квантовых точек. Оптические методы исследования квантовых точек.

**8. Метаматериалы.** Оптика частиц с отрицательным показателем преломления. Основные свойства сред с отрицательным показателем преломления. Закономерности оптических явлений в метаматериалах: эффект Доплера, излучение Вавилова-Черенкова, эффект «невидимки». Моделирование распространения световых импульсов на границе раздела «правых» и «левых» сред.

**9. Взаимодействие света с веществом в наноструктурах.** Взаимодействие атома с полем – полуклассическая теория. Взаимодействие атома с полем – основы квантовой теории. Нанофотоника в Беларуси.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские Занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	Введение в нанофотонику	2						Устный опрос
2	Оптические аналогии квантовых явлений	6	4					Устный опрос
3	Наноструктуры	2						Устный опрос
4	Методы получения и современные области применения наноматериалов	4						Устный опрос
5	Фотонные кристаллы	6	6				2	Устный опрос Проверка рефератов
6	Наноплазмоника	6	4				2	Устный опрос Проверка рефератов
7	Оптические свойства полупроводниковых наночастиц и структур	6						Устный опрос
8	Метаматериалы	4	2					Устный опрос
9	Взаимодействие света с веществом в наноструктурах	4						Устный опрос
	<b>Всего</b>	<b>40</b>	<b>16</b>				<b>4</b>	<b>Экзамен</b>

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Гапоненко С.В., Розанов Н.Н., Ивченко Е.Л., Федоров А.В., Бонч-Бруевич А.М., Вартамян Т.А., Пржибельский С.Г. Оптика наноструктур. СПб.: Недра. 2005.
2. Климов В.В. Наноплазмоника. М.: Физматлит. 2010.
3. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. М.: Физматлит. 2010.
4. Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А.. Оптические свойства наноструктур. С.-Пб.: Наука. 2001
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит., 2005.

### Перечень дополнительной литературы

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс Нанотехнологии Москва: Техносфера, 2005
2. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000.
3. В.Г. Цирельсон. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы, твердые тела М.: Бином, 2010.
4. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низко-размерных структур. М.: Логос, 2000.
5. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия, 2000.
6. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века / Пер. с англ. Под. Ред. Л.А. Чернозатонского. – М.: Техносфера, 2003.
7. Nanomaterials. Synthesis, Properties and Applications / Eds A.S. Edelstein, R.C. Cammarata. Bristol: Institute of Physics Publishing, 1998.
8. Нанотехнологии в электронике. Под. Ред. Ю.А. Чаплыгина. М.: Техносфера, 2005.
9. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2005.
10. Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф.Агулло-Руеда. Нанотехнологии для микро и оптоэлектроники. М.: Техносфера, 2007.

### Примерный перечень заданий УСР

1. Моделирование распространения света в периодических и квазипериодических фотонных структурах.
2. Нелинейно-оптические эффекты в фотонных кристаллах.



3. Приложения наноплазмоники: Терапия и визуализация опухолей с помощью наночастиц.
4. Биосенсоры на поверхностных и локализованных плазмонах.

### **Мероприятия для контроля управляемой самостоятельной работой**

Для контроля УСР используются проверки рефератов.

#### **Перечень тем реферативных работ**

1. Распространение света в одномерных и двумерных фотонных кристаллах.
2. Распространения света в системах связанных волноводов (маятниковый режим, дискретная дифракция).
3. Оптические солитоны в фотонных кристаллах.
4. Волноводы на основе фотонных кристаллов.
5. Нанофототермолиз злокачественных опухолей.
6. Спектральные характеристики металлических наночастиц.
7. Объемные и поверхностные плазмоны.
8. Методы возбуждения поверхностных плазмонов.
9. Оптические свойства металлических наночастиц
10. Оптические свойства полупроводниковых нанокристаллов
11. Тонкопленочные многослойные зеркала и фильтры
12. Перенос представлений из квантовой теории твердого тела в оптику и его роль в развитии нанофотоники
13. Плазмонные наносенсоры
14. Особенности взаимодействия света и вещества в плазмонных наноструктурах
15. Фотонно-кристаллические наноструктуры
16. Концепция плотности состояний в нанофотонике

#### **Методика формирования итоговой оценки**

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (постановление Министерства Образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете ( № 382-ОД от 18.08.2015 г.);
3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать проверку рефератов и устные опросы.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно. Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,4; для экзаменационной оценки — 0,6.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название Кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Нелинейная оптика	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)
Лазерные технологии и лазеры в медицине	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
лазерной физики и спектроскопии  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ А.Л. Толстик

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.М. Анищик