

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ



Директор филиала МГУ в г. Сарове
член-корреспондент РАН В.В.Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

ОСНОВЫ ФОТОНИКИ

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Лазерная нелинейная оптика и фотоника

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

Д.ф.-м.н., профессор Желтиков Алексей Михайлович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Основы фотоники»

В курсе изучаются современные тенденции в развитии науки на стыке лазерной физики, квантовой оптики, нелинейной волноводной оптики, оптики метаматериалов, информационных технологий, посвящённых разработке и реализации радикально новых способов спектрально-временного преобразования оптического излучения и использования его для целей спектроскопии, сенсорики, а также передачи и обработки информации.

Дисциплина по выбору читается на 1м году обучения в 2 ом семестре

Использование фотона или фонона в качестве «агента» передачи информации, позволяет в перспективе создавать устройства обработки данных с характеристиками на несколько порядков превосходящие аналогичные элементы в современной классической электронике. В последние годы продемонстрированы на практике всевозможные полностью оптические, компактные, маломощные элементы булевой логики на основе фотонных кристаллов, метаматериалов, микро- и наносветоводов. Помимо вопроса обработки оптического сигнала, одной из важнейших задач лазерной физики является создание надежных и компактных источников лазерного излучения, обладающего наперед заданными характеристиками. Будут рассмотрены основные принципы генерации ультракоротких световых импульсов, которые представляют собой интересный физический объект и являются уникальным инструментом для исследования быстропротекающих процессов в физике, химии и биологии.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

В результате освоения дисциплины «Основы фотоники» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-1	<p>Знать: основные законы и направления современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p> <p>Уметь: на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>Владеть: необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p>

4. Форма обучения: очная

5. Язык обучения: русский

6. Содержание дисциплины:

Тема 1. Введение в основы фотоники.

Предмет и области приложений фотоники. Инструментальные средства фотоники. Место фотоники в современной физике. Актуальные проблемы и последние достижения фотоники и оптических технологий (генерация сверхкоротких световых импульсов, получение высоких интенсивностей, миниатюризация оптических и лазерных компонентов, нанотехнологии в оптике, высокоточные оптические измерения).

Тема 2. Излучение света

Испускание фотонов. Источники излучения. Светодиоды. Усиление излучения. Обзор основных классов лазеров. Современные тенденции развития лазерной техники: короткие импульсы, высокие мощности, компактные лазеры. Методы получения и измерения сверхкоротких лазерных импульсов.

Тема 3. Элементы волоконной оптики

Передача оптических сигналов. Формирование и основные классы волноводных мод. Типы оптических волноводов. Микроструктурированные волокна. Планарные волноводы. Волноводы с плавно изменяющимся показателем преломления. Одномодовый режим. Управление дисперсионными свойствами световодов.

Тема 4. Полые волноводы

Моды и оптические потери полых волноводов. Дисперсия волноводных мод. Генерация сверхкоротких импульсов. Квазисолитонные режимы в оптических волокнах. Волноводы на брэгговском отражении (фотонно-кристаллические волноводы).

Тема 5. Теория связанных мод

Понятие супермоды. Виды волноводной связи. Математическое описание распространения связанных мод. Многоволноводные системы.

Тема 6. Спектрально-временное преобразование импульсов в оптических световодах.

Волоконное уравнение распространения сверхкоротких лазерных импульсов в рамках модели медленно меняющейся волны. Квазисолитонные режимы в оптических волокнах. Солитонный сдвиг частоты в микроструктурированных волокнах. Четырёхволновое взаимодействие и оптическое параметрическое усиление. Генерация сверхкоротких импульсов в оптических волокнах. Волоконные компрессоры. Солитонное сжатие импульсов. Генерация суперконтинуума.

Тема 7. Фотонные кристаллы

Распространение света в периодических структурах. Дисперсионное соотношение для одномерной периодической структуры. Методы изготовления фотонных кристаллов. Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Фотонные кристаллы с дефектом решетки. Фотонно-кристаллические и дырчатые волноводы. Применения фотонных кристаллов.

Тема 8. Высокоточные измерения в оптике.

Эквидистантные наборы спектральных компонент как частотные линейки. Получение и стабилизация частотных гребенок в фемтосекундных твердотельных лазерах с синхронизацией мод. Спектральное суживание частотных гребенок. Принципы оптических измерений частоты с использованием стабилизированных частотных гребенок.

Тема 9. Световодные системы.

Оптоволоконные нейроинтерфейсы. Волоконные источники квантовых состояний света. Волоконные источники сжатого света и квантово-перепутанных состояний. Световодные системы в квантовых телекоммуникациях. Световодные системы для генерации интенсивных световых полей и гармоник высокого порядка. Волоконно-оптические сенсорные системы.

Тема 10. Алмазная фотоника.

Алмаз как оптический материал и квантовый сенсор. Структура и свойства алмаза, центры окраски, применение в биофотонике. Центры окраски алмаза. NV-центры в алмазе. Структура и свойства центра. Элемент квантового компьютера. Оптическая магнитометрия. Передовой сенсорный элемент. Квантовый сенсор и оптический зонд. Предельная чувствительность метода.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Основы фотоники	2	72	34	17	17	38

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Основы фотоники» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям, выполнения домашних заданий. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно- практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Введение в основы фотоники	4	1		1	2	Собеседование, опрос
2	Излучение света	8	2	-	2	4	
3	Элементы волоконной оптики	10	3	-	3	4	

4	Полые волноводы	4	1		1	2	
5	Теория связанных мод	4	1		1	2	
6	Спектрально-временное преобразование импульсов в оптических световодах	12	3		3	6	
7	Фотонные кристаллы	4	1		1	2	
8	Высокоточные измерения в оптике	4	1		1	4	
9	Световодные системы	14	3		3	6	
10	Алмазная фотоника	4	1		1	2	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет в устной форме
ИТОГО:		72	17	-	17	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Основы фотоники» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы фотоники» проводится в форме экзамена. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике	Перечень тем, изучаемых в

(в форме беседы, дискуссии по теме)	изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: основные законы и направления современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники СПК-1	Отсутствие знаний основных законов и направлений современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники	В целом успешные, но не систематические знания основных законов и направлений современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных законов и направлений современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники	Успешные и систематические знания основных законов и направлений современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники
УМЕТЬ: на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять возможные направления научных исследований	Отсутствие умения на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять возможные направления научных исследований	В целом успешное, но не систематическое умение на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и	Успешное и систематическое умение на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять возможные направления

СПК-1		возможные направления научных исследований	фотоники, определять возможные направления научных исследований	научных исследований
ВЛАДЕТЬ: необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники СПК-1	Отсутствие/фрагментарное владение необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники	В целом успешное, но не систематическое владение необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники	Успешное и систематическое владение необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Вывести характеристическое уравнение для планарного волновода, работающего за счёт полного внутреннего отражения в рамках волнового и лучевого подходов.
2. Используя характеристическое уравнение для планарного волновода, работающего за счёт полного внутреннего отражения, найти выражение для общего числа направляемых мод и частоту отсечки.
3. Записать волноводное уравнение распространения сверхкоротких лазерных импульсов в рамках модели медленно меняющейся волны.
4. Сформулировать понятие супермоды. Привести математическое описание распространения связанных мод.
5. Вывести закон дисперсии одномерного фотонного кристалла на основе периодической слоистой среды, характеризующейся двумя показателями преломления.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме экзамена:

1. Обзор основных классов лазеров. Современные тенденции развития лазерной техники: короткие импульсы, высокие мощности, компактные лазеры.
2. Основные принципы генерации предельно коротких световых импульсов. Механизмы синхронизации мод в источниках сверхкоротких световых импульсов.
3. Методы компрессии и измерения сверхкоротких лазерных импульсов.
4. Формирование и основные классы волноводных мод. Симметрия структуры и симметрия моды.
5. Характеристическое уравнение планарного волновода со ступенчатым профилем показателя преломления, работающего за счёт полного внутреннего отражения. Число направляемых волноводных мод и частота отсечки.
6. Планарный волновод с градиентным профилем показателя преломления. Характеристическое уравнение и число направляемых волноводных мод.
7. Моды и оптические потери полых волноводов.
8. Вытекающие моды. Туннелирующие моды. Изгибы и деформации волокна.
9. Понятие супермоды. Математическое описание распространения связанных мод.
10. Фотонные кристаллы. Распространение света в периодических структурах. Дисперсионное соотношение одномерной периодической структуры.
11. Различные типы микроструктурированных и фотонно-кристаллических световодов. Физические механизмы реализации волноводного режима распространения излучения.
12. Возможности управления дисперсией и нелинейностью в микроструктурированных волокнах.
13. Основные физические механизмы волоконного спектрально-временного преобразования сверхкоротких лазерных импульсов.
14. Волоконное уравнение распространения сверхкоротких лазерных импульсов в рамках модели медленно меняющейся волны.
15. Четырёхволновое взаимодействие и оптическое параметрическое усиление в оптических волокнах.
16. Квазисолитонные режимы в оптических волокнах. Солитонный сдвиг частоты в микроструктурированных волокнах.
17. Генерация дисперсионных волн в оптических волокнах.
18. Генерация суперконтинуума в микроструктурированных волокнах.
19. Принцип использования микроструктурированных волокон в системах оптической метрологии.

20. Световодные системы для генерации интенсивных световых полей и гармоник высокого порядка
21. Основные приложения фотонно-кристаллических световодов.
22. Световодные системы в оптических технологиях. Волоконные сенсоры.
23. Световодные системы и нейрофотоника. Оптоволоконные нейроинтерфейсы.
24. Световодные системы для квантовых технологий. Волоконные источники сжатого света и квантово-перепутанных состояний.
25. Алмаз как оптический материал и квантовый сенсор.
26. Световодные системы в квантовых телекоммуникациях.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. С.А. Ахманов, Н.И. Коротеев, «Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света» (Москва: Наука, 1981).
2. И.Р. Шен, «Принципы нелинейной оптики» (New York: Wiley, 1984; Москва: Наука, 1989),
3. С.А. Ахманов, В.А. Выслоух, А.С. Чиркин, «Оптика фемтосекундных лазерных импульсов» (Москва: Наука, 1988),
4. А.М. Желтиков «Сверхкороткие импульсы и методы нелинейной оптики», Москва, Наука, 2007.
5. А.М. Желтиков «Микроструктурированные световоды», Москва, Физматлит, 2003.
6. А.М. Желтиков «Микроструктурированные световоды в оптических технологиях», Москва, Наука, 2009.

Дополнительная литература.

1. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. М.: Мир, 1996.
2. Маркузе Д. Оптические волноводы. М.: Мир, 1974.

Интернет-ресурсы.

1. Сайт журнала «Успехи физических наук» <http://ufn.ru/>
2. Сайт журнала «Квантовая электроника» <http://www.quantum-electron.ru/>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, интерактивной доской, и управляющим компьютером. Также необходимо наличие экрана и обычной учебной доски.