

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:

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

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:

К.ф.-м.н., доцент Морозов Вячеслав Борисович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Современные проблемы физики»

В курсе изучаются физические процессы и явления в современных лазерных и оптоэлектронных устройствах и системах.

Описываются направления развития и применения элементов и устройств современной оптики и фотоники, осуществляющих генерацию когерентного света, усиление света, передачу света в пространстве, детектирование сигналов и измерение параметров излучения и световых импульсов.

Представлены сведения из волновой оптики, электромагнитной теории, оптики фотонов и квантовой физики, необходимые для описания свойств когерентных световых волн, световых пучков и взаимодействия света с веществом. Кратко рассмотрены основные закономерности при излучении и поглощении света в среде, характеристики лазерных резонаторов. Обсуждаются различные типы лазерных сред и систем накачки, способы классификации лазерных источников. Дается представление о временной структуре излучения и условиях реализации режимов генерации оптических импульсов при модуляции добротности и синхронизации мод. Приводятся сведения об оптике полупроводников, полупроводниковых микро- и наноструктур (гетероструктуры, квантовые ямы, квантовые точки, периодические наноструктуры). Рассматриваются основные схемы реализации полупроводниковых некогерентных, частично когерентных и когерентных источников фотонов оптического диапазона. Описано действие наиболее распространенных детекторов фотонов. Изложены краткие сведения о структуре и свойствах оптических волокон и волоконных элементов и устройств, о типах активных лазерных волокон, о волоконных лазерах и усилителях. В заключительной части рассмотрены примеры информационных и технологических применений современных лазерных и оптоэлектронных систем.

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 «Современные проблемы физики» 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)
Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1)	Знать основные законы и направления 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. Владеть необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.
Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2)	Знать базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники. Уметь используя знания в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники проводить научные исследования. Владеть навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.

<p>Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники (СПК-3).</p>	<p>Знать основные направления инновационного развития в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p> <p>Уметь проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p>Владеть методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p>
---	---

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Тема 1. Уникальные свойства и характеристики лазерного излучения

Введение в курс. Что такое лазер? Основные особенности лазерных источников света. Сравнение с нелазерными источниками. Монохроматичность, когерентность, высокая интенсивность и спектральная яркость, направленность, фокусировка. Световые импульсы, их длительность и спектр. Состав и структура лазерного излучателя. Из истории создания лазера. Лазеры в современной оптике. Основные типы лазеров. Важнейшие области применения лазеров.

Тема 2. Световые волны и пучки. Гауссов пучок

Роль света. Развитие представлений о природе света. Скорость света. Основные сведения из электромагнитной теории. Уравнения Максвелла. Электромагнитное поле в изотропной и анизотропной среде. Волновое уравнение. Плоская электромагнитная волна. Поляризация. Энергия и мощность электромагнитного поля. Интенсивность и плотность электромагнитной энергии. Распространение в свободном пространстве и в среде. Световые волны и пучки. Гауссов пучок. Основные параметры гауссова пучка. Ширина пучка и расходимость. Фаза и кривизна волнового фронта. Фокусировка. Мера качества реальных пучков.

Тема 3. Взаимодействие света со средой. Возможность усиления

Излучение нагретых тел. Квантовая природа света. Формула Планка. Распределение Больцмана. Поглощение и излучение света. Коэффициенты Эйнштейна. Спонтанное и вынужденное излучение. Фазовая когерентность при вынужденном излучении. Усиливающая активная среда. Функция формы линии. Однородное и неоднородное уширение. Инверсная населенность. Накачка. Трехуровневая система. Четырехуровневая система. Метастабильный уровень. Скоростные уравнения.

Тема 4. Твердотельные лазерные среды и их свойства

Основные материалы лазерных элементов. Кристаллические материалы и стекла. Активные ионы. Рубиновый лазер. Неодимовые лазеры. Эрбиевые лазеры. Перестраиваемые твердотельные лазеры. Иттербиевые лазеры.

Тема 5. Лазерная генерация и схемы накачки

Пороговые условия генерации. Насыщение усиления. Выходная мощность. Модель генерации. От чего зависит эффективность генерации и выходная мощность?

Четырехуровневые, квази-трехуровневые и трехуровневые среды. Релаксационные колебания. Пиковый режим генерации. Примеры лазеров с различными схемами накачки: ламповая накачка, поперечная диодная накачка. Продольная диодная накачка. Кольцевой лазер.

Тема 6. Лазерные усилители

Одно- и многопроходные усилители лазерных импульсов. Регенеративные усилители лазерных импульсов. Негативные факторы при усилении. Искажение временной и пространственной формы сигнала. Потери инверсной населенности. Самофокусировка

Тема 7. Резонаторы для волн оптического диапазона

Резонаторы и их основные характеристики. Эталон Фабри-Перо как интерферометр и лазерный резонатор. Металлические и диэлектрические зеркала. Продольные моды. Резонансные частоты. Возможность накопления энергии. Потери и спектральная ширина резонатора. Время жизни фотона в резонаторе и добротность. Гуссов пучок в резонаторе. Резонаторы со сферическими зеркалами и обращение волнового фронта. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Эквивалентные резонаторы. Поперечные моды. Резонансные частоты поперечных мод. Оптический резонатор и усиливающая среда. Селекция длин волн. Типы оптических резонаторов.

Тема 8. Системы оптической лазерной накачки

Источники накачки. Импульсные лампы. Лампы с непрерывной дугой. Лазерные диоды. Способы ввода излучения накачки. Поперечная ламповая накачка. Поперечная накачка лазерными диодами и матрицами лазерных диодов. Продольная и торцевая накачка. Встречной накачки дисковых лазеров. Термооптические эффекты. Тепловая линза.

Тема 9. Генерация лазерных импульсов. Модуляция добротности и синхронизация мод

Модуляция добротности – генерация импульсов длиннее времени обхода резонатора. Модуляция добротности при непрерывной и импульсной накачке. Электрооптические модуляторы. Акустооптические модуляторы. Пассивные затворы. Синхронизация мод – генерация импульсов короче времени обхода резонатора. Формирование импульса. Спектрально ограниченный лазерный импульс. Пассивная синхронизация мод. Насыщающиеся поглотители на растворах органических красителей. Керровская линза. SESAM. Активная синхронизация мод. Пикосекундные лазеры. Фемтосекундные лазерные импульсы. Фемтосекундные лазеры. Лазерные материалы. Генерация октав. Понятие о «чирпе». Усиление фемтосекундных импульсов.

Тема 10. Полупроводниковая оптическая электроника и полупроводниковые лазеры

Энергетические зоны и носители заряда в полупроводниках. Полупроводниковые материалы. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Полупроводниковый p-n-переход. Концентрация электронов и дырок. Гетеропереходы. Квантово-размерные структуры. Взаимодействие фотонов с носителями зарядов в полупроводниках. Светоизлучающие диоды. Полупроводниковые оптические усилители. Суперлюминесцентные диоды. Полупроводниковые лазеры. Квантово-размерные лазеры. Полупроводниковые детекторы

фотонов. Основные характеристики полупроводниковых фотодетекторов. Фотоприемники. Фотопроводники. Фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Матричные детекторы.

Тема 11. Оптические волокна. Волоконные лазеры

Структура оптических волокон. Ввод излучения в волокно. Числовая апертура. Нормированная частота. Одномодовые и многомодовые волокна. Поглощение света. Дисперсия оптических волокон. Изготовление оптических волокон. Активные волокна. Волоконные лазеры. Схемы и источники накачки. Внутриволоконные брэгговские решетки. Брэгговские зеркала. Схемы построения и компоненты волоконных лазеров. Общая схема эрбиевого волоконного лазера. Общая схема иттербиевого волоконного лазера. Другие волоконные лазеры. Импульсные волоконные лазеры. Волоконные усилители. Рамановские волоконные усилители.

Тема 12. Современные лазерные технологии и системы

Лазерная обработка материалов. Лазеры в медицине и биологии. Лазеры в линиях связи. Лазеры в системах записи, считывания и обработки информации. Лазеры в системах прецизионных измерений и дальнометрии. Удаленная лазерная диагностика. Военные применения лазеров. Уникальные лазерные системы и комплексы.

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	
Современные проблемы физики	2	72	36	18	18	36

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

Изучение курса «Современные проблемы физики» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса и обсуждаются вопросы, обозначенные в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям, выполнении 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 занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Уникальные свойства и характеристики лазерного излучения	4	1	-	1	2	Собеседование, опрос
2	Световые волны и пучки. Гауссов пучок	4	1	-	1	2	
3	Взаимодействие света со средой. Возможность усиления	4	1	-	1	2	
4	Твердотельные лазерные среды и их свойства	4	1	-	1	2	
5	Лазерная генерация и схемы накачки	4	1	-	1	2	
6	Лазерные усилители	4	1	-	1	2	
7	Резонаторы для волн оптического диапазона	4	1	-	1	2	
8	Системы оптической лазерной накачки	4	1	-	1	2	
9	Генерация лазерных импульсов. Модуляция добротности и синхронизация мод	4	1	-	1	2	
10	Полупроводниковая оптическая электроника и полупроводниковые лазеры	6	2	-	2	2	
11	Оптические волокна. Волоконные лазеры	4	1	-	1	2	
12	Современные лазерные технологии и системы	22	6		6	10	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет в устной форме
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Современные проблемы физики» 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 «Современные проблемы физики» 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 (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в 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: принципы работы лазеров и лазерных устройств	Отсутствие знаний принципов работы лазеров и лазерных устройств	В целом успешные, но не систематические знания принципов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания	Успешные и систематические знания принципов работы лазеров и

ОПК-3.Б 3-6		работы лазеров и лазерных устройств	принципов работы лазеров и лазерных устройств	лазерных устройств
УМЕТЬ: работать с лазерами и лазерными устройствами	Отсутствие умения работать с лазерами и лазерными устройствами	В целом успешное, но не систематическое умение работать с лазерами и лазерными устройствами	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать лазерами и лазерными устройствами	Успешное и систематическое умение работать с лазерами и лазерными устройствами
ОПК-3.Б У-6				
ВЛАДЕТЬ: методами описания и расчета лазеров и лазерных устройств ОПК-3.Б В-6	Отсутствие/фрагментарное владение методами описания и расчета лазеров и лазерных устройств	В целом успешное, но не систематическое владение методами описания и расчета лазеров и лазерных устройств	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами описания и расчета лазеров и лазерных устройств	Успешное и систематическое владение методами описания и расчета лазеров и лазерных устройств

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

- Получите выражение для интенсивности сферической волны на расстоянии r от ее центра через оптическую мощность P . Какова интенсивность на расстоянии $r = 1$ м от источника мощностью $P = 100$ Вт?
- Найти лучевую матрицу коллиматора, образованного системой из двух линз с фокусными расстояниями $f_1, 2$, установленными на расстоянии $d = (f_1 + f_2)$ друг от друга.
- Эталон Фабри-Перо образован зеркалами с коэффициентами отражения $R_{1,2} = 80\%$ по интенсивности. Рассчитать его контраст по коэффициенту пропускания
- Кристалл InGaAsP длиной 500 мкм работает на длине волны, на которой его показатель преломления $n = 3,5$. Пренебрегая рассеянием и другими потерями, определить коэффициент усиления, требуемый для компенсации потерь при отражении от границ кристалла.
- Свет, излучаемый Nd:YAG -лазером на длине волны $1,06$ мкм, представляет собой гауссов пучок с оптической мощностью 1 Вт и углом расходимости $= 1$ мрад. Определите радиус перетяжки пучка, глубину резкости, максимальную интенсивность и интенсивность на оси пучка на расстоянии $= 100$ см от перетяжки.
- Линейный резонатор образован выпуклым сферическим зеркалом радиусом кривизны $R = -100$ см и вогнутым сферическим зеркалом радиусом кривизны $R = 150$ см. Определить максимально возможное расстояние между зеркалами d , при котором этот резонатор остается устойчивым.
- В равновесной двухуровневой системе коэффициент поглощения излучения с частотой $\nu = 6 \times 10^{14}$ Гц, совпадающей с частотой перехода, при температуре $T = 300$ К равен $\alpha = 2 \text{ см}^{-1}$. Оценить коэффициент поглощения этого же излучения при температуре $T = 1000$ К.

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

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме экзамена:

- Общие сведения об устройстве лазера.

2. Основные свойства лазерного излучения.
3. Уравнения Максвелла и плотность мощности электромагнитного поля.
4. Уравнения Максвелла и волновое уравнение.
5. Плоская электромагнитная волна. Связь между электрическим и магнитным полями.
6. Плотность энергии и интенсивность электромагнитной волны.
7. ABCD-матрицы простейших оптических элементов и каскада элементов.
8. Гауссов пучок.
9. Основные параметры гауссова пучка.
10. Прохождение Гауссовых пучков через оптические элементы.
11. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо. Моды резонатора.
12. Резонатор со сферическими зеркалами. Диаграмма устойчивости.
13. Гауссов пучок – мода резонатора со сферическими зеркалами.
14. Потери и спектральная ширина резонатора.
15. Время жизни фотона в резонаторе.
16. Излучение нагретого тела. Формула Планка.
17. Излучение и поглощение света. Спонтанное и вынужденное излучение.
18. Спонтанное и вынужденное излучение. Сечение перехода.
19. Инверсная населенность. Усиление света. Обратная связь. Порог генерации.
20. Лазерное усиление. Коэффициент усиления. Фазовый сдвиг при усилении.
21. 3-х и 4-хуровневые схемы накачки. Насыщение усиления.
22. Потери в оптическом резонаторе. Условия лазерной генерации. Порог генерации.
23. Спектр генерации при однородном и неоднородном уширении.
24. Одномодовое и многомодовое излучение. Критерий качества лазерного пучка.
25. Динамика лазерной генерации. Пичковая и стационарная генерация. Релаксационные колебания.
26. Модуляция добротности.
27. Синхронизация мод.
28. Энергетические зоны и носители заряда в полупроводниках. Полупроводниковые материалы. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.
29. Полупроводниковый p-n-переход. Концентрация электронов и дырок. Возможность усиления света.
30. Светоизлучающие диоды. Суперлюминесцентные диоды.
31. Полупроводниковые оптические усилители.
32. Полупроводниковые лазеры на гетеропереходах.
33. Полупроводниковые детекторы фотонов. Основные характеристики.
34. Структура оптических волокон. Ввод излучения в волокно. Числовая апертура.
35. Нормированная частота. Одномодовые и многомодовые волокна.
36. Поглощение света в волокне. Дисперсия оптических волокон.
37. Активные волокна. Волоконные лазеры. Схемы и источники накачки.
38. Виды волоконных лазеров, схемы построения и ключевые компоненты.

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

Основная литература:

1. Б.Салех, М.Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер. с английского. В 2-х томах. Долгопрудный: «Интеллект», 2012.
2. О.Звелто. Принципы лазеров. Изд. 4-е. Пер. с английского. М.: «Лань», 2002.

Дополнительная литература:

1. Л.В. Тарасов. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. М: «Радио и связь», 1981

2. W.Koechner, Solid-State Laser Engineering. Springer, 6th Ed., 2006.
3. R.Paschotta. The Encyclopedia of Laser Physics and Technology, v.I &II. Wiley-WCH, 2008.
4. В.В.Шувалов. Введение в физику лазеров. Мультимедийный конспект лекций, 2004.
5. Л.Н.Курбатов. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. М.: «Физматкнига», 2013.
6. Э.Розеншер, Б.Винтер. Оптоэлектроника. Пер. с французского. М.: «Техносфера», 2004.
7. А.Н.Игнатов. Оптоэлектроника и нанофотоника: СПб.: «Лань», 2011.
8. D.Meschede. Optics, Light and Lasers. Wiley-WCH, 2008.
9. А.Е.Siegman, Lasers. Mill Valley, Calif.: University Science Books, 1986

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>
2. http://laserfaq.ru/sam/laserfaq_ru.htm

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.