**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ОПТИКИ, СПЕКТРОСКОПИИ и ФИЗИКИ НАНОСИСТЕМ

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Взаимодействие излучения с веществом и нелинейная оптика**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

**Физика и методы синхротронных, нейтронных и лазерных исследований: оптика, спектроскопия, структурная диагностика вещества**

Форма обучения:

Очная

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение

**Авторы–составители:**

1. Кандидат физ.-мат. наук Вохник Ольга Михайловна, кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ
2. Доктор физ.-мат. наук, профессор Короленко Павел Васильевич, кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ

**Заместитель заведующего кафедрой оптики, спектроскопии и физики наносистем**

**кандидат физ.-мат. наук, доцент Каменских Ирина Александровна**

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**

Курс состоит из двух частей. Первая часть посвящена описанию взаимодействия излучения с веществом на основе квазиклассических и квантовых моделей. Основное внимание уделяется методам анализа, которые позволяют рассмотреть воздействие света на квантовомеханические системы \*\*(атомы, молекулы, квантовые точки, плазмоны и т.д.), исходя из наиболее общих принципов. Помимо основных физико-математических моделей в первой части содержится описание ряда оптических явлений и эффектов. Среди них оптические нутации, самоиндуцированная прозрачность, солитонное распространение излучения, фотонное эхо, квантоворазмерные эффекты. Во второй части представлены основные положения нелинейной оптики. Нелинейный отклик материальной среды рассматривается на основе нелинейного обобщения материального уравнения и функции Грина, для описания распространения оптического излучения в нелинейных средах и возникающих при этом эффектов используется укороченное уравнение. Изучаются основные нелинейно-оптические явления: генерация гармоник и смешение частот, параметрическая генерация, вынужденное рассеяние света, эффекты самовоздействия и обращения волнового фронта.

Дисциплина реализуется на 5 курсе в 10 семестре и является обязательной для освоения обучающимися.

Объем дисциплины составляет 3 з.е., в том числе 68 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточный аттестация – контрольная работа в 10 семестре, итоговая аттестация - экзамен в 10 семестре.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Относится к вариативной части, является обязательной для освоения обучающимися

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

Владение основами курсов «оптика» (модуль “Общая физика”), «Электродинамика», «Квантовая теория» (модуль «Теоретическая физика»)

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций** |
|  |  | **Знать**  проблематику и инструментарий физических исследований в области взаимодействия света с квантовыми системами, в том числе и с проявлением нелинейных эффектов \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Уметь**  анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач в области взаимодействия излучения с веществом; при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Владеть/Иметь опыт**\_  навыками использования современного программного продукта и электронных баз данных; навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях; планирования экспериментальных исследований по взаимодействию излучения с атомными и молекулярными системами\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

**4.** Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе: 68 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

**5.**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(ак.ч.)** | **В том числе** | | | | | | **Форма текущего контроля успеваемости, наименование** |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем)**  ***Виды контактной работы, академические часы[[1]](#footnote-1)*** | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося,**  **академические часы** |
| **Занятия лекционного типа (лекции)** | **Занятия семинарского типа** | | | **Всего** |
| **Семинары** | **Лабораторные занятия\*** | **Практические занятия\*** |
| **Тема 1**. Анализ взаимодействия света с веществом на основе квазиклассической модели (оптические нутации, продольная и поперечная релаксации, восприимчивость, эффекты насыщения**)** | 15 | **10** |  |  |  | **10** | **5** | Опрос  Проверка домашнего задания |
| **Тема 2**. Импульсное воздействие света (теорема о площадях, фотонное эхо, солитоны, фемто-секундная оптика)  **Тема 3**. Описание процессов взаимодействия с привлечением квантовых представлений (вторичное квантование, испускание и поглощение фотонов, коэффициенты Эйнштейна, многофотонные процессы, взаимодействие излучения с плазмой)  **Тема 4.** Особенности взаимодействия света с металлами, полупроводниками и диэлектриками (основы металлооптики, механизм поглощения света и передачи энергии в полупроводниках и диэлектриках, зависимости коэффициентов отражения и поглощения от длины волны, роль экситонов в поглощении света, поверхностные плазмоны) | **13**  **13**  **11** | **8**  **8**  **8** |  |  |  | **8**  **8**  **8** | **5**  **5**  **3** | Опрос  Проверка домашнего задания  Опрос  Проверка домашнего задания  Опрос  Контрольная работа  Реферат |
| **Тема 5.** Нелинейный отклик материальной среды: нелинейная по- ляризованность, клас- сификация оптических сред, функция Грина. | **8** | **6** |  |  |  | **6** | **4** | Опрос |
| **Тема 6.** Квадратичные нелинейно-оптические эффекты, условие фазо- вого синхронизма. | **8** | **8** |  |  |  | **8** | **4** | Опрос |
| **Тема 7.** Эффекты са-мовоздействия, само- фокусировка оптичес- кого излучения, гене- рация суперконтину- ума. | **6** | **6** |  |  |  | **6** | **4** | Опрос |
| **Тема 8.** Вынужденное рассеяние света: ком-бинационное, Ман- дельштама-Бриллюэна,  крыла линии Рэлея, температурное | **6** | **6** |  |  |  | **6** | **4** | Опрос |
| **Тема 9.** Обращение волнового фронта оп- тического излучения при четырехволно- вом смешении и вы- нужденном рассеянии Мандельштама-Брил- люэна. Применения в науке и технике | **6** | **6** |  |  |  | **6** | **4** | Опрос |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Промежуточная аттестация – контрольная работа**  (оценивается выполнение контрольных заданий и качество подготовленных рефератов) |  | | | | | | **4** |  |
| **Итого** | **108** | **68** | | | | | **40** |  |

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

**6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

**Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Примеры оценочных средств:

* *примеры контрольных вопросов*:

1. Основные положения квазиклассической модели взаимодействия света с веществом.

2. Процедура вторичного квантования светового поля.

3. Квантово-размерный эффект.

4. Оптическая восприимчивость квадратичной среды, ее частотный состав.

5. Использование вынужденного рассеяния в лазерной физике

6.Как происходит самофокусировка лазерных импульсов в средах с кубичной нелинейностью?

7.Что такое режим пассивной синхронизации мод?

8.Как устроен оптический затвор на основе эффекта самофокусировки?

9.Что такое фазовая самомодуляция?

10.Что такое генерация суперконтинуума?

* *примеры домашних заданий*:

1. Определить величины осцилляций заселенности уровней и частоты оптических нутаций в двухуровневой системе с заданными параметрами при разных частотных расстройках и интенсивностях излучения.

2. Произвести оценку предельной выходной мощности лазера при заданных параметрах активной среды.

3. Описать факторы, влияющие на интенсивность фотонного эха.

4. Описать физические механизмы вынужденного рассеяния.

5. Выполнить оценку пороговой мощности различных видов вынужденного рассеяния.

6. Оценить длину когерентности в процессе генерации второй гармоники для разных отстроек от условия фазового синхронизма

* *примеры тем для рефератов*:

1. Особенности импульсного воздействия света на вещество.

2. Прикладное значение нелинейных оптических эффектов.

3. Применение лазеров на квантовых точках в спектроскопии поглощения.

4. Практическое использование явления обращения волнового фронта

5. Оптическая нутация и методы ее реализации

6. Параметрические генераторы света и их применение в науке и технике

* *вопросы к экзамену*:

1. **Энергетический спектр квантовой системы**. Поведение микросистемы при нестационарном воздействии. Метод оценки вероятностей переходов между состояниями системы.

2. **Квазиклассическая теория дипольных переходов.** Резонансное приближение. Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Осцилляции заселенностей. Частота Раби.

3. **Оптические нутации**. Когерентное и некогерентное затухание нутаций. Динамический эффект Штарка.

4. **Импульсное воздействие**. Теорема о площадях. Свойства π/2- и π-импульсов. Фотонное эхо.

5. **Описание воздействия света с учетом релаксационных процессов**. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей уровней.

6. **Восприимчивость квантовой системы.** Поглощение и дисперсия. Однородное, неоднородное и смешанное уширение линий. Эффекты насыщения.

7. **Анализ квантовых переходов на основе теории возмущений.** Определение вероятности перехода методом последовательных приближений. Переходы в “размытые” состояния.

8. **Элементы нелинейной оптики**. Квадратичная и кубичная нелинейные поляризации и восприимчивости. Фазовый синхронизм. Нелинейные явления.

9. **Поверхностные плазмоны.** Свойства плазмон-поляритонов. Датчики на основе поверхностных плазмонов.

10. **Метод вторичного квантования**. Волновая функция светового поля. Энергия нулевых колебаний электромагнитного осциллятора. Гамильтониан атома в поле квантованного излучения.

11. **Поглощение и испускание фотонов атомами**. Вероятности однофотонных процессов. Рассеяние света как двухфотонный процесс. Многофотонный резонанс.

12. **Поглощение фотонов свободными и связанными электронами**. Обратнотормозной эффект. Использование представлений об энергетических зонах. Особенности взаимодействия света с металлами и полупроводниками.

13. **Воздействие света на квантовые точки**. Квантово-размерный эффект. Трансформация непрерывного спектра в дискретный. Волновая функция и энергетический спектр носителя заряда внутри квантовой точки.

14. **Двухфотонное поглощение квантовыми точками.** Экситоны. Фотолюминесценция квантовых точек. Применение квантовых точек в лазерной технике биологии и медицине

15. **Общее классическое описание нелинейных эффектов**. Функция Грина. Нелинейные восприимчивости.

16. **Нелинейность элементарного осциллятора как механизм оптической нелинейности**.

17. **Генерация второй гармоники**. Фазовый синхронизм.

18. **Самовоздействие света.** Самофокусировка и ее физические механизмы.

19. **Генерация суммарной и разностной частот**. Параметрические процессы. Перестраиваемый параметрический генератор.

20. **Вынужденное рассеяние света**. Классическое описание вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) на внутримолекулярных колебаниях.

21. **Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна** (ВРМБ).

22. **Четырехволновое смешение** (взаимодействие). Коэффициент отражения сигнальной волны.

23. **Обращение волнового фронта** оптического излучения методами нелинейной оптики.

24. **Двухуровневая система в сильном световом поле**. Самоиндуцированная прозрачность.

Уменьшение скорости распространения светового импульса.

6.2. Шкала и критерии оценивания

*(шкала и критерии оценивания могут быть типовыми для всех дисциплин (модулей), входящих в ОПОП ВО)*

**7. Ресурсное обеспечение**

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

**Основная литература**:

1. Акулин В.М., Карлов Н.В. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике. – М.: Наука, 1987, 311 с.

|  |
| --- |
| 2. Короленко П.В. Взаимодействие излучения с веществом. – М.: Издательство Московского университета, 1992, 78 с.  3. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. – М.: Физматлит, 2004, 512 с.  4. Новотный Лукас, Хехт Берт. Основы нанооптики. – М.: Физматлит, 2009, 484 с.  5. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. Москва, "Наука", 1991.  6. Цернике Ф., Мидвинтер Дж. Прикладная нелинейная оптика. Москва, «Мир», 1976.  7. Крюков П.Г. Фемтосекундные импульсы. Москва, Физматлит, 2008.  8. Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. Москва, "Наука", 1985*.* |

**Дополнительная литература**

1. Желтиков А.М., Сверхкороткие импульсы и методы нелинейной оптики. – М: Физматлит, 2006, 296 с.

2. Либенсон М.Н., Яковлев Е.Б., Шандыбина Г.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Конспект лекций. Часть I. Поглощение лазерного излучения в веществе. Под общей редакцией В.П. Вейко – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008, 141 с.

3. Федоров А.В., Рухленко И.Д., Баранов А.В., Кручинин С.Ю. Оптические свойства полупроводниковых квантовых точек. – СПб.: Наука, 2011, 188 с.

4. Ярив А., Юх П.. Оптические волны в кристаллах. Москва, «Мир», 1987.

5. С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин. Физическая оптика. Москва, Издательство Московского университета, 2004.

**Периодическая литература**:

1. Андреев А.А., Мак А.А., Яшин В.Е. Генерация и применение сверхсильных лазерных полей.// Квантовая электроника, т. 24. №2, стр. 99 – 114, 1997.

2. Федоров А.В., Баранов А.В., Masumoto Y. Когерентный контроль квазиупругого резонансного вторичного свечения: полупроводниковые квантовые точки // Оптика и спектроскопия, т. 92, №5, стр. 797 – 803, 2002.

3. Хазанов Е.А. Комплексная программа научных исследований Президиума РАН "Экстремальные световые поля и их приложения" 2012 – 2014 гг.", Квантовая электроника, т. 43. №3, стр. 189 – 190, 2013.

5. Полуэктов И.А., Попов Ю.М., Ройтберг В.С. Эффект самоиндуцированной прозрачности. Успехи физических наук, 1974, том 114, выпуск 1, стр.97-131.

**Интернет-ресурсы**:

1. Сайт с электронной копией разделов курса и научными статьями, отражающими его проблематику: [http://optics.phys.msu.ru](http://optics.phys.msu.ru/)

2. Сайт журнала “Квантовая электроника”: <http://www.quantum-electron.ru>

3. Сайт журнала “Оптика и спектроскопия”: <http://www.maik.rssi.ru/cgi-perl/journal.pl?lang=rus&name=optrus&page=guid>

4. Архив журнала «Успехи физических наук» <http://www.mathnet.ru/ufn/archive>

**Описание материально-технической базы:** интерактивная доска в аудитории

**8. Язык преподавания:** русский

1. *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.* [↑](#footnote-ref-1)