

Рабочая программы дисциплины

1. Нелинейные волны и нелинейная оптика

2. Лекторы.

2.1. Д.ф.-м.н., профессор, Макаров Владимир Анатольевич, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ, e-mail: vamakarov@phys.msu.ru, телефон.: +7(495) 939-12-25

2.2. К.ф.-м.н., доцент, Карговский Алексей Владимирович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ, e-mail: kargovsky@yumr.phys.msu.ru, телефон.: +7(495) 939-26-12

3. Аннотация дисциплины.

Курс «Нелинейные волны и нелинейная оптика» является дисциплиной профиля для студентов 4-го курса физического факультета, обучающихся по программе "ИБ_ФИЗИКА" (направление 011200 "Физика") и специализирующихся в области лазерной физики. Курс читается в 7 семестре и представляет собой систематическое изложение физических основ нелинейной оптики. Курс состоит из трех основных блоков. Первый из них составляют вопросы теории взаимодействия с веществом электромагнитного (светового) излучения, интенсивность которого достаточна для проявления нелинейности отклика среды, но является "неразрушающей", т.е. излучение еще не вызывает разрушения структуры вещества. Вторым блоком - это волновая нелинейная оптика. Здесь рассматриваются такие, ставшие уже традиционными, вопросы как взаимодействие волн в процессах генерации гармоник, параметрического усиления и генерации, при вынужденном рассеянии и двухфотонном поглощении. Значительное место уделено эффектам самовоздействия световых пучков и импульсов. Третий блок составляют принципиальные вопросы теории нелинейных волн неэлектромагнитной природы.

4. Цели освоения дисциплины.

Владение современными профессиональными знаниями в области нелинейной оптики и нелинейных волн.

5. Задачи дисциплины.

Знакомство с физическими основами нелинейной оптики и методами анализа поведения нелинейных волн неэлектромагнитной природы.

6. Компетенции.

7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

ОНК-5, ИК-1, ИК-2, ИК-3, ИК-4, ПК-1

7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

ПК-2, ПК-3, ПК-6

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать физические основы нелинейной оптики;

уметь проводить расчет распространения электромагнитного излучения в среде с учетом нелинейных эффектов;

владеть основными методами анализа нелинейных процессов в веществе на классическом и квантовом уровне.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	7			
Общая трудоёмкость, акад. часов	72			72
Аудиторная работа:	36			36
Лекции, акад. часов	36			36
Семинары, акад. часов	-			-
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
Самостоятельная работа, акад. часов	36			36
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	Экзамен			Экзамен

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля
		Аудиторная работа		Самостоятельная работа	
		Лекции	Семинары		
1.	Электромагнитные волны в среде	<p><i>№1. 2 часа.</i> Уравнения Максвелла-Лоренца для точных значений электрического и магнитного поля. Учет атомной структуры вещества. Мультипольное разложение. Усреднение уравнений Максвелла-Лоренца. Формула для электрической поляризации среды. Связь между характеристиками среды и векторами поля; феноменологический и микроструктурный подходы.</p>			<p><i>2 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Вспомнить уравнения Максвелла, переход от них к волновому уравнению.</i></p> <p><i>Оп, Об</i></p>

2.	Феноменологическая теория оптических восприимчивостей	<p>№2-3. 4 часа.</p> <p>Функциональная связь между поляризацией вещества и полем. Разложение функционала в ряд по степеням поля. Линейные и нелинейные функции отклика среды. Тензорный характер функций отклика. Временная и пространственная нелокальность отклика. Тензоры оптических восприимчивостей. Тензор линейной восприимчивости. Нелинейные восприимчивости второго и третьего порядков. Основные нелинейные оптические эффекты. Свойства тензоров оптических восприимчивостей. Внутренняя симметрия. Пространственно-частотные перестановочные соотношения для тензоров нелинейных восприимчивостей. Соотношения Клейнмана. Внешняя симметрия. Влияние симметрии оптических сред на свойства оптических восприимчивостей.</p>			<p>4 часа.</p> <p>Работа с лекционным материалом.</p> <p>Вспомнить тензорное исчисление</p>	<p>Оп, Об</p>
----	---	---	--	--	---	-------------------

3.	Волновые уравнения нелинейной оптики	<p><i>№4. 2 часа.</i></p> <p>Метод связанных волн. Условия на границе раздела сред. Приближение медленно меняющихся амплитуд. Плоские волны в первом приближении теории дисперсии. Волновые пакеты в изотропной среде; второе приближение теории дисперсии. Монохроматические световые пучки в нелинейной изотропной среде. Импульсные световые пучки в нелинейной изотропной среде.</p>			<p><i>2 часа.</i></p> <p><i>Работа с лекционным материалом.</i></p> <p><i>Вспомнить волновое уравнение.</i></p>	<p><i>Оп, Об</i></p>
----	--------------------------------------	--	--	--	---	--------------------------

4.	Квантовая теория поляризации вещества	<p>№5-6. 4 часа.</p> <p>Чистые и смешанные состояния квантовых систем. Уравнение фон Неймана для матрицы плотности. Учет взаимодействия квантовой системы с окружающей средой («термостатом») и полем излучения. Матрица плотности, усредненная по состояниям «термостата». Смысл диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности в энергетическом представлении. Упругие и неупругие процессы релаксации. Дифференциальные уравнения для усредненной матрицы плотности. Решение уравнений методом возмущений. Действие квазимонохроматических полей. Однофотонные и многофотонные квантовые переходы. Тензоры оптических восприимчивостей в электродипольном приближении. Трактовка нелинейного отклика среды в терминах многофотонных процессов. Время «памяти» в среде. Резонансные свойства восприимчивостей. Соотношения перестановочной симметрии для тензоров оптических восприимчивостей. Сходимость ряда разложения поляризации по степеням поля.</p>			<p>4 часа.</p> <p>Работа с лекционным материалом и литературой. Вспомнить понятия монополя/диполя и особенности их взаимодействия с полем.</p>	<p>Он, Об</p>
----	---------------------------------------	--	--	--	--	-------------------

5.	Ориентационная нелинейность	<p>№7. 2 часа.</p> <p>Ориентация молекул в монохроматическом поле. Ориентация молекул в немонахроматическом поле. Ориентационная добавка к показателю преломления. Вынужденное рассеяние в крыле линии Рэлея (ВРКЛР). Стоксовы и антистоксовы компоненты при ВРКЛР. Спонтанное рассеяние в крыле линии Рэлея.</p>			<p>2 часа.</p> <p>Работа с лекционным материалом.</p> <p>Вспомнить углы Эйлера, распределение Больцмана.</p>	Оп, Об
6.	Электрострикционная нелинейность	<p>№8. 2 часа.</p> <p>Физика электрострикции. Зависимость поляризации вещества от плотности и температуры. Генерация акустических волн в световых полях. Уравнения взаимодействия акустических и световых волн и их простейшие решения. Вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна (ВРМБ). Спонтанное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна.</p>			<p>2 часа.</p> <p>Работа с лекционным материалом.</p> <p>Вспомнить уравнения гидродинамики.</p>	Оп, Об
7.	Другие виды оптической нелинейности	<p>№9. 2 часа.</p> <p>Температурная нелинейность. Вынужденное температурное рассеяние I и II рода. Концентрационное рассеяние. Фоторефракция. Лоренцева нелинейность.</p>			<p>2 часа.</p> <p>Работа с лекционным материалом.</p> <p>Вспомнить уравнение теплопроводности.</p>	Оп, Об

8.	Параметрические процессы	<i>№10-11. 4 часа.</i> Трехфотонные (трехволновые) взаимодействия. Основные уравнения. Характерные длины взаимодействия волн. Фазовый синхронизм. Интегралы сохранения. Генерация второй гармоники. Сложение и вычитание частот. Распадная неустойчивость волн. Реализация фазового синхронизма в двулучепреломляющих и периодических средах. Четырехфотонные (четырёхволновые) параметрические процессы. Генерация третьей гармоники и смешение частот. Обращение волнового фронта (ОВФ) при четырехволновых взаимодействиях.			<i>4 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i>	<i>Он, Об</i>
----	--------------------------	---	--	--	--	-------------------

9.	Многофотонные (многоволновые) процессы с возбуждением среды	№12-13. 4 часа. Двухфотонное поглощение. Спонтанные и вынужденные рассеяния. Стоксовы и антистоксовы компоненты. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). ВКР на молекулярных колебаниях. Модель Плачека. Двухволновая модель ВКР. Взаимодействие стоксовых и антистоксовых компонент. Компоненты высших порядков. ОВФ при вынужденных рассеяниях. Коэффициенты усиления обращенной и некогерентной компонент. Некоторые применения ОВФ.			4 часа. Работа с лекционным материалом. Вспомнить нормальные колебания.	Оп, Об
10.	Взаимодействие модулированных световых волн	№14. 2 часа. Эффекты группового запаздывания при временной модуляции волн. Апертурные эффекты. Пространственно-временная аналогия.			2 часа. Работа с лекционным материалом.	Оп, Об

11.	Самовоздействие и дифракция в нелинейной среде	№15. 2 часа. Уравнения для световых пучков в среде с нелинейным показателем преломления. Автомодельное решение в приосевом приближении. Самофокусировка и самодефокусировка волновых пучков. «Нити» самофокусировки и «бегущие» фокусы. Волноводное распространение (самоканалирование); пространственные солитоны.			2 часа. Работа с лекционным материалом.	Оп, Об
12.	Самовоздействие волновых пакетов	№16. 2 часа. Эффект самомодуляции импульсов электромагнитного излучения. Сжатие импульсов. Эволюция импульсов в нелинейной среде. Нелинейное уравнение Шредингера. Самосжатие импульсов. Солитоны огибающей.			2 часа. Работа с лекционным материалом. Вспомнить уравнение Шредингера.	Оп, Об
13.	Нелинейные волны в средах без дисперсии	№17. 2 часа. Уравнения для простых волн. Точные решения. Образование разрывов. Ударные волны. Нелинейные взаимодействия в простых волнах. пилообразные волны.			2 часа. Работа с лекционным материалом.	Оп, Об

14.	Нелинейные волны в средах с диссипацией и в диспергирующих средах	№18. 2 часа. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса. Стационарные фронты. Точные решения. Уравнение Кортевега-Фриса. Качественный анализ. Стационарные волны. Солитоны.			2 часа. Работа с лекционным материалом.	Оп, Об
-----	---	---	--	--	--	-----------

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является Дисциплиной профиля (обязательная).
2. Вариативная часть, профессиональный блок, дисциплина профиля (обязательная).
3. Курс связан с дисциплинами «Нелинейная лазерная спектроскопия» и «Резонансные взаимодействия излучения с веществом».
 - 3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

“Дифференциальные уравнения”, “Молекулярная физика”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Теория вероятностей”, “Электродинамика”.
 - 3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее.

Данная дисциплина предусмотрена в 7-ом семестре, ее освоение необходимо для выполнения научно-исследовательской практики, научно-исследовательской работы, выполнения курсовой и дипломной работ.

10. Образовательные технологии – для чтения лекций используется доска с мелом.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится на 9 неделе. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.

Итоговая аттестация экзамен.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Уравнения Максвелла-Лоренца для точных значений электрического и магнитного поля. Учет атомной структуры вещества. Мультипольное разложение. Усреднение уравнений Максвелла-Лоренца.
2. Функциональная связь между поляризацией вещества и полем. Разложение функционала в ряд по степеням поля. Линейные и нелинейные функции отклика среды. Тензорный характер функций отклика. Временная и пространственная нелокальность отклика. Тензоры оптических восприимчивостей.
3. Свойства тензоров оптических восприимчивостей. Внутренняя симметрия. Пространственно-частотные перестановочные соотношения для тензоров нелинейных восприимчивостей. Соотношения Клейнмана. Внешняя симметрия. Влияние симметрии оптических сред на свойства оптических восприимчивостей.
4. Метод связанных волн. Условия на границе раздела сред. Приближение медленно меняющихся амплитуд. Плоские волны в первом приближении теории дисперсии. Волновые пакеты в изотропной среде; второе приближение теории дисперсии. Монохроматические световые пучки в нелинейной изотропной среде. Импульсные световые пучки в нелинейной изотропной среде.
5. Уравнение фон Неймана для матрицы плотности. Матрица плотности, усредненная по состояниям «термостата». Смысл диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности в энергетическом представлении. Упругие и неупругие процессы релаксации. Дифференциальные уравнения для усредненной матрицы плотности.
6. Однофотонные и многофотонные квантовые переходы. Тензоры оптических восприимчивостей в электродипольном приближении. Трактовка нелинейного отклика среды в терминах многофотонных процессов. Время «памяти» в среде. Резонансные свойства восприимчивостей.
7. Ориентация молекул в монохроматическом поле. Ориентация молекул в некогерентном монохроматическом поле. Ориентационная добавка к показателю преломления. Вынужденное и спонтанное рассеяние в крыле линии Рэлея.
8. Электрострикционная нелинейность. Генерация акустических волн в световых полях. Уравнения взаимодействия акустических и световых волн и их простейшие решения. Вынужденное и спонтанное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна.

9. Температурная нелинейность. Вынужденное температурное рассеяние I и II рода. Концентрационное рассеяние. Фоторефракция. Лоренцева нелинейность.
10. Трехфотонные (трехволновые) взаимодействия. Фазовый синхронизм. Интегралы сохранения. Генерация второй гармоники. Сложение и вычитание частот.
11. Распадная неустойчивость волн. Реализация фазового синхронизма в двулучепреломляющих и периодических средах. Четырехфотонные (четырёхволновые) параметрические процессы. Генерация третьей гармоники и смещение частот. Обращение волнового фронта (ОВФ) при четырехволновых взаимодействиях.
12. Двухфотонное поглощение. Спонтанные и вынужденные рассеяния. Стоксовы и антистоксовы компоненты. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). ВКР на молекулярных колебаниях. Модель Плачека. Двухволновая модель ВКР. Взаимодействие стоксовых и антистоксовых компонент. Компоненты высших порядков.
13. ОВФ при вынужденных рассеяниях. Коэффициенты усиления обращенной и некоррелированной компонент. Некоторые применения ОВФ.
14. Эффекты группового запаздывания при временной модуляции волн. Апертурные эффекты. Пространственно-временная аналогия.
15. Уравнения для световых пучков в среде с нелинейным показателем преломления. Автомоделное решение в приосевом приближении. Самофокусировка и самодефокусировка волновых пучков. «Нити» самофокусировки и «бегущие» фокусы. Волноводное распространение (самоканалирование); пространственные солитоны.
16. Эффект самомодуляции импульсов электромагнитного излучения. Сжатие импульсов. Эволюция импульсов в нелинейной среде. Нелинейное уравнение Шредингера. Самосжатие импульсов. Солитоны огибающей.
17. Уравнения для простых волн. Точные решения. Образование разрывов. Ударные волны. Нелинейные взаимодействия в простых волнах. Пилообразные волны.
18. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса. Стационарные фронты. Точные решения. Уравнение Кортевега-де-Фриса. Качественный анализ. Стационарные волны. Солитоны.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. П.А. Апанасевич, Основы теории взаимодействия света с веществом (Наука и техника, Минск, 1977).
2. С.А. Ахманов, Р.В. Хохлов, Проблемы нелинейной оптики (ВИНИТИ, Москва, 1964).
3. Н. Бломберген, Нелинейная оптика (Мир, Москва, 1966).
4. М.Б. Виноградова, О.Б. Руденко, А.П. Сухоруков, Теория волн (Наука, Москва, 1991).
5. И.Р. Шен, Принципы нелинейной оптики (Наука, Москва, 1989).

Дополнительная литература

1. В.Г. Дмитриев, Л.В. Тарасов, Прикладная нелинейная оптика (Физматлит, Москва, 2004).
2. Б.Я. Зельдович, Н.Ф. Пилипецкий, В.В. Шкунов, Обращение волнового фронта (Наука, Москва, 1985).
3. С. Келих, Молекулярная нелинейная оптика (Наука, Москва, 1981).
4. Д.Н. Клышко, Физические основы квантовой электроники (Наука, Москва, 1986).

Программное обеспечение современных информационных компьютерных технологий —

13. Материально-техническое обеспечение

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