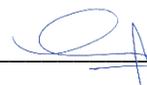


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ



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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

БЫСТРЫЙ И МЕДЛЕННЫЙ СВЕТ

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 Андреев Анатолий Васильевич, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Быстрый и медленный свет»

Дисциплина дает систематическое изложение теории процессов резонансного взаимодействия излучения с веществом. Дисциплина по выбору читается на 2м году обучения в 1 ом семестре и относится к вариативной части программы.

В первой части курса приводится вывод уравнений, используемых для описания процессов стационарной и квазистационарной генерации и усиления. Основное внимание уделяется анализу приближений, которые применяются при теоретическом описании указанных явлений. Далее рассматриваются процессы взаимодействия одиночного атома с резонансным электромагнитным полем. Вводятся понятия частоты Раби, площади импульса, одноатомного лазера и т.д. Вторая часть курса посвящена анализу процессов квазистационарной генерации и усиления. Третья часть курса посвящена анализу специфики нестационарного усиления и генерации. В этом случае используется полная система неукороченных уравнений Максвелла-Блоха. Обсуждаются отличия когерентного и некогерентного режимов усиления, солитонные решения укороченной системы уравнений Максвелла-Блоха, как для случая резонансно поглощающих, так и резонансно усиливающих сред. Дается интерпретация явления сверхсветового распространения импульсов.

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 «Быстрый и медленный свет» 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)	<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>
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)	<p>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.</p> <p>Уметь используя знания в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники проводить научные исследования.</p> <p>Владеть навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>

<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. Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей

Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей. Уравнения электромагнитного поля. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Параболическое приближение. Уравнение для медленно-меняющихся амплитуд. Поле в резонаторе. Граничные условия. Собственные моды резонатора. Добротность резонатора. Основные механизмы потерь.

Материальные уравнения. Классическая теория дисперсии. Модель Лоренца. Плазменная частота. Уравнение Шредингера для свободного атома. Свойства ортогональности и полноты собственных функций. Четность состояния. Оператор дипольного момента и его свойства.

Гамильтониан атома, взаимодействующего с электромагнитным полем. Уравнения для амплитуд населенности уровней атома, взаимодействующего с электромагнитной волной. Связь матричных элементов оператора импульса и оператора координаты. Линейная восприимчивость.

Тема 2. Двухуровневый атом.

Двухуровневый атом. Матрицы Паули и их свойства. Вектор и сфера Блоха. Уравнения движения для многоуровневого атома. Двухуровневый атом в поле монохроматической внешней волны. Частота осцилляций Раби в резонансном случае и при наличии отстройки. Площадь импульса.

Система укороченных уравнений Максвелла - Блоха. Атом в идеальном микрорезонаторе. Амплитуда одноквантового поля. Одноатомный лазер. Радиационный распад в многомодовом резонаторе.

Тема 3. Скоростные уравнения.

Релаксация. Спонтанное излучение. Естественная ширина линии. Столкновительное и доплеровское уширение линии атомного перехода. Однородное и неоднородное уширение, безызлучательная релаксация. Скоростные уравнения. Накачка.

Усиление импульсов. Стационарное усиление, коэффициент усиления. Эффект насыщения. Усиление импульсов в однородно- и неоднородно- уширенных средах.

Зависимость выходной интенсивности от длины усилителя: экспоненциальный и линейный режимы усиления. Предельное значение интенсивности усиленного импульса.

Стационарная генерация. Условия самовозбуждения. Распределение интенсивностей встречных волн при насыщенном и ненасыщенном усилении. Оптимальное значение прозрачности выходного зеркала.

Область стационарной генерации. Условие стационарной генерации в линейном случае. Нелинейный режим генерации. Максимальная выходная мощность.

Тема 4. Классификация динамических режимов лазеров.

Классификация динамических режимов лазеров. Пороговое значение накачки.

Основные составные части лазера как автоколебательной системы. Адиабатическое приближение. Анализ устойчивости стационарной генерации. Процесс установления стационарной генерации.

Эффект насыщения и его роль в процессе установления стационарного режима генерации лазера.

. Неадиабатическое приближение. Сведение уравнений лазера к системе уравнений Лоренца - Хакена. Анализ устойчивости.

Тема 5. Нестационарное усиление и генерация

Нестационарный режим усиления импульсов. Экспоненциальное и летаргическое усиление.

Солитоны самоиндуцированной прозрачности. Гамильтонова интерпретация солитонных решений.

Солитоны в пространственно неоднородных резонансно поглощающих и резонансно усиливающих средах. «Сверхсветовое» распространение импульсов.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Быстрый и медленный свет	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 «Быстрый и медленный свет» 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	Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей	12	4		4	4	Собеседование, опрос
2	Двухуровневый атом	12	4	-	4	4	
3	Скоростные уравнения	8	2	-	2	4	
4	Классификация динамических режимов лазеров	12	4		4	4	
5	Нестационарное усиление и генерация	12	4		4	4	
	Промежуточная аттестация	4				16	Зачет в устной форме
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Быстрый и медленный свет» 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 «Быстрый и медленный свет» проводится в форме зачета.

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.	Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей/ Двухуровневый атом Скоростные уравнения Классификация динамических режимов лазеров Нестационарное усиление и генерация
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.	Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей/ Двухуровневый атом Скоростные уравнения Классификация динамических режимов лазеров Нестационарное усиление и генерация
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: принципы работы	Отсутствие знаний принципов работы оптических устройств	В целом успешные, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешные и систематические знания

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

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Волновое уравнение и свойства его решений
2. Краевые задачи математической физики
3. Модель двухуровневого атома
4. Солитоны в физике
5. Линейные и нелинейные краевые задачи
6. Критерии устойчивости решений

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

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей. Уравнения электромагнитного поля. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Параболическое приближение.

2. Уравнение для медленно-меняющихся амплитуд. Поле в резонаторе. Потери в резонаторе и его добротность.
3. Материальные уравнения. Классическая теория дисперсии. Гамильтониан атома, взаимодействующего с электромагнитным полем. Собственные уровни атома. Полнота и ортогональность волновых функций. Линейные операторы. Двухуровневый атом. Матрицы Паули и их свойства.
4. Двухуровневый атом. Операторы разности населенностей и плотности тока перехода для двухуровневого атома. Вектор и сфера Блоха. Уравнения движения для многоуровневого атома.
5. Уравнения Блоха для системы двухуровневых атомов. Система укороченных уравнений Максвелла - Блоха. Интеграл движения Блоха.
6. Двухуровневый атом в поле монохроматической внешней волны. Частота осцилляций Раби в резонансном случае и при наличии отстройки. Площадь импульса.
7. Релаксация. Спонтанное излучение. Естественная ширина линии. Столкновительное и доплеровское уширение линии атомного перехода.
8. Однородное и неоднородное уширение, безызлучательная релаксация. Скоростные уравнения. Накачка.
9. Усиление импульсов. Стационарное усиление, коэффициент усиления. Эффект насыщения. Усиление импульсов в однородно- и неоднородно- уширенных средах.
10. Насыщение усиления. Сужение контура усиления. Экспоненциальное и линейное усиление.
11. Стационарная генерация. Условия самовозбуждения. Распределение интенсивностей встречных волн при насыщенном и ненасыщенном усилении.
12. Область стационарной генерации. Максимальная выходная мощность. Оптимальное значение прозрачности выходного зеркала.
13. Нестационарный режим усиления импульсов. Экспоненциальное и летаргическое усиление.
14. Солитоны самоиндуцированной прозрачности. Площадь импульса. Солитоны в пространственно ограниченных резонансно поглощающих и усиливающих средах.
15. Классификация динамических режимов лазеров. Пороговое значение накачки.
16. Основные составные части лазера как автоколебательной системы. Адиабатическое приближение. Анализ устойчивости стационарной генерации. Процесс установления стационарной генерации.
17. Эффект насыщения и его роль в процессе установления стационарного режима генерации лазера.
18. Неадиабатическое приближение. Сведение уравнений лазера к системе уравнений Лоренца - Хакена. Анализ устойчивости.
19. Трансформация спектра импульса по мере распространения в резонансно - поглощающей и резонансно – усиливающей среде.
20. Компрессия импульса в диспергирующих средах.

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

Основная литература.

1. Аллен Л., Эберли Дж. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М.: Мир, 1978.
2. Ханин Я.И. Динамика квантовых генераторов. М.: Наука, 1988.
3. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физматлит, 2000
4. Андреев А.В. "Оптическое сверхизлучение: новые идеи и новые эксперименты". УФН, т.160, с.1-46, 1990
5. Слепов Н. «О свете медленном и быстром», Фотоника, т.1, с.16-27, 2007
- 6.

Дополнительная литература.

1. Андреев А.В. «Релятивистская квантовая механика: частицы и зеркальные частицы», М.: Физматлит, 2009
2. А.В.Андреев, О.А.Шутова «Спектр поляризационного отклика двухуровневого атома, взаимодействующего со сверхсильным лазерным полем», Нелинейный мир, т.3, 31-2, с.63-67 (2005)
3. Hau L.V., Harris S.E., Dutton Z., Behroozi C.H. Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas // *Nature*, v. 397, p. 594–598 (1999)
4. Е. Б. Александров и В. С. Запасский. Легенда об остановленном свете (PDF, 240 Кб) // «Успехи физических наук», т. 174, №10, с. 1105–1108 (2004)
5. Е. Б. Александров и В. С. Запасский. В погоне за «медленным светом» (PDF, 230 Кб) // «Успехи физических наук», т. 176, №10, с. 1093–1102 (2006).
6. Harris S.E. Electromagnetically Induced Transparency // *Physics Today*, v. 50 (7), 36 (1997)

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 учебной доски.