

1. Резонансные взаимодействия излучения с веществом

2. Лекторы.

2.1. Д.ф.м.н., профессор Андреев Анатолий Васильевич, каф.ОФиВП физического факультета МГУ, av_andreev@phys.msu.ru, тел.(495)939-3092

3. Аннотация дисциплины.

Курс посвящен введению в теорию процессов резонансного взаимодействия излучения с веществом. 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. Этот анализ проводится на базе скоростных уравнений. Определяются пороговые условия генерации, условия стабильности генерации, оптимальные значения добротности резонатора лазера и т.д. Третья часть курса посвящена анализу специфики нестационарного усиления и генерации. В этом случае используется полная система укороченных 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.

4. Цели освоения дисциплины.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен понимать физические принципы, лежащие в основе базовых явлений в области взаимодействия электромагнитного излучения с резонансными средами, и знать основные теоретические методы, применяющиеся для описания соответствующих процессов.

5. Задачи дисциплины.

Ознакомить студентов с основными физическими принципами, лежащими в основе явлений взаимодействия электромагнитного излучения с резонансными средами, а также с основными теоретическими методами, применяющимися при описании соответствующих процессов.

6. Компетенции.

7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

ОНК-1, ОНК-4, ИК-4, ПК-2

7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

ОНК-5, СК-2, ПК-3

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен
знать основные физические принципы, лежащие в основе базовых явлений в области взаимодействия электромагнитного излучения с резонансными средами;
уметь выполнять численные оценки параметров различных систем, приводящих к качественно различным режимам эволюции систем;
владеть теоретическими методами описания процессов резонансного взаимодействия излучения с веществом;
иметь опыт деятельности в области работы с современной научной литературой по указанной тематике.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	7			
Общая трудоёмкость, акад. часов	80			80
Аудиторная работа:	36			36
Лекции, акад. часов	36			36
Семинары, акад. часов	-			-
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
Самостоятельная работа, акад. часов	44			44
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	Зачет			Зачет

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа				Самостоятельная работа
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей	<p><i>№1. 2 часа.</i> Основные уравнения теории квантовых генераторов и усилителей. Уравнения электромагнитного поля. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Параболическое приближение. Уравнение для медленно-меняющихся амплитуд.</p>			<p><i>2 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Повторение уравнений Максвелла для поля в среде.</i></p>	Оп, Об
		<p><i>№2. 2 часа.</i> Поле в резонаторе. Граничные условия. Собственные моды резонатора. Добротность резонатора. Основные механизмы потерь.</p>			<p><i>2 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Повторение теории краевых задач в математической физике.</i></p>	

	<p><i>№3. 2 часа.</i> 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.</p>			<p><i>3 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Повторение основ квантовой механики, теории дисперсии Лоренца.</p>	
	<p><i>№4. 2 часа.</i> 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.</p>			<p><i>3 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Повторение основ квантовой механики, операторы и их свойства.</p>	

2.	Двухуровневый атом.	<p><i>№5. 2 часа.</i> 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.</p>			<p><i>3 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Повторение свойств матриц 2x2</p>	ДЗ, Оп, Об
		<p><i>№6. 2 часа.</i> Система укороченных уравнений Максвелла - Блоха. Атом в идеальном микрорезонаторе. Амплитуда одноквантового поля. Одноатомный лазер. Радиационный распад в многомодовом резонаторе.</p>			<p><i>3 часа.</i> Работа с лекционным материалом.</p>	

3.	Скоростные уравнения.	<p><i>№7. 2 часа.</i> Релаксация. Спонтанное излучение. Естественная ширина линии. Столкновительное и доплеровское уширение линии атомного перехода. Однородное и неоднородное уширение, безызлучательная релаксация. Скоростные уравнения. Накачка.</p>			<p><i>3 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Самостоятельное изучение механизмов однородного и неоднородного уширения спектральных линий.</i></p>	ДЗ, КР, Оп, Об
		<p><i>№8. 2 часа.</i> Усиление импульсов. Стационарное усиление, коэффициент усиления. Эффект насыщения. Усиление импульсов в однородно- и неоднородно- уширенных средах.</p>			<p><i>3 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Повторение материала об однородно- и неоднородно- уширенных линиях</i></p>	
		<p><i>№9. 2 часа.</i> Зависимость выходной интенсивности от длины усилителя: экспоненциальный и линейный режимы усиления. Предельное значение интенсивности усиленного импульса.</p>			<p><i>3 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Решение задач на тему “Усиление в однородно и неоднородно уширенных средах”</i></p>	

		<p><i>№10. 2 часа.</i> Стационарная генерация. Условия самовозбуждения. Распределение интенсивностей встречных волн при насыщенном и ненасыщенном усилении. Оптимальное значение прозрачности выходного зеркала.</p>			<p><i>3 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Разработка компьютерных программ для решения задач о линейном режиме стационарной генерации</p>	
		<p><i>№11. 2 часа.</i> Область стационарной генерации. Условие стационарной генерации в линейном случае. Нелинейный режим генерации. Максимальная выходная мощность.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Разработка компьютерных программ для решения задач о нелинейном режиме стационарной генерации.</p>	
4.	Классификация динамических режимов лазеров.	<p><i>№12. 2 часа.</i> Классификация динамических режимов лазеров. Пороговое значение накачки.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Самостоятельное ознакомление с обзорной литературой по указанной теме.</p>	<p><i>Оп, Об</i></p>

		<p><i>№13. 2 часа.</i> Основные составные части лазера как автоколебательной системы. Адиабатическое приближение. Анализ устойчивости стационарной генерации. Процесс установления стационарной генерации.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Повторение материала по теории устойчивости решений систем линейных дифференциальных уравнений.</p>	
		<p><i>№14. 2 часа.</i> Эффект насыщения и его роль в процессе установления стационарного режима генерации лазера.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом.</p>	
		<p><i>№15. 2 часа.</i> Неадиабатическое приближение. Сведение уравнений лазера к системе уравнений Лоренца - Хакена. Анализ устойчивости.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом.</p>	
5.	Нестационарное усиление и генерация	<p><i>№16. 2 часа.</i> Нестационарный режим усиления импульсов. Экспоненциальное и латаргическое усиление.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Самостоятельное ознакомление с программами для численного моделирования эффектов резонансного взаимодействия излучения с веществом.</p>	<p><i>Оп, Об</i></p>

		№17. 2 часа. Солитоны самоиндуцированной прозрачности. Гамильтонова интерпретация солитонных решений.			2 часа. Работа с лекционным материалом. Самостоятельное ознакомление с обзорной литературой по указанной теме.	
		№18. 2 часа. Солитоны в пространственно неоднородных резонансно поглощающих и резонансно усиливающих средах. «Сверхсветовое» распространение импульсов.			2 часа. Работа с лекционным материалом. Самостоятельное ознакомление с обзорной литературой по указанной теме.	

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является Дисциплиной профиля (обязательная).
2. Вариативная часть, профессиональный блок, дисциплина профиля (обязательная).
3. Курс является теоретическим базисом к специальному физическому практикуму и неразрывно связан с дисциплинами “Оптика”, “Физика лазеров”, “Оптика ультракоротких импульсов”.

3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

“Общий физический практикум”, “Математический анализ”, “Линейная алгебра”
“Молекулярная физика”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Теория поля”,
“Введение в квантовую физику”, “Квантовая механика”.

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 научно-исследовательской работы, курсовой работы, дипломной работы.

10. Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предлагаются темы для докладов и презентаций с последующей дискуссией и обсуждением сделанного доклада.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

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

Примеры домашних задач:

1. Вывести уравнения для амплитуд населенности атомных уровней при взаимодействии одиночного атома с плоской э.м. волной
2. Рассчитать коэффициент усиления для неоднородно уширенной линии
3. Сравнить характеристики импульсов усиленных в однородно и неоднородно уширенных средах одинаковой длины
4. Рассчитать скорость солитона при заданных значениях параметров среды

Промежуточная аттестация проводится на 9 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Итоговая аттестация зачет.

Перечень вопросов к зачету:

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 логарифмическое 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.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

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. «Релятивистская квантовая механика: частицы и зеркальные частицы», М.: Физматлит, 2009

Дополнительная литература

1. Andreev A.V. *ATOMIC SPECTROSCOPY: Introduction to the Theory of Hyperfine Structure*. Springer, 2006.
2. Андреев А.В. "Оптическое сверхизлучение: новые идеи и новые эксперименты". УФН, т.160, вып.12, с.1-46, 1990.
3. *Femtosecond-Scale Optics*, Ed. by Anatoli V. Andreev, ISBN: 978-953-307-769-7, InTech (2011)

Периодическая литература —

1. 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)

13. Материально-техническое обеспечение

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

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.