

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Квантовая радиофизика»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.1

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе 6 часов – контактная работа,  
84 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (уровень подготовки кадров высшей квалификации), код и название направления

утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. №\_876, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, шифр и название специальности

утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является овладение физическими основами описания строения вещества и его взаимодействия с электромагнитными полями.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучение основ квантовой механики;
- изучение современных представления о строении атомов, молекул и твердого тела;
- изучение методов описания взаимодействия электромагнитного поля с веществом;
- изучение принципов работы квантовых генераторов и усилителей.

**В** процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность применять фундаментальные знания в прикладных научных исследованиях (ПК-1);

- способность к составлению научных обзоров по публикациям отечественных и международных научных исследований (ПК-5);
- способность к составлению научных отчётов по результатам проводимых научных исследований (ПК-6).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

- фундаментальные и прикладные положения дисциплины (ПК-1);
- методы и средства решения задач квантовой электроники и нелинейной оптики (ОПК-1);

### **уметь:**

- выдвигать новые идеи как теоретического, так и практического плана (ОПК-3);
- самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний (УК-1);
- оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК-6);
- использовать фундаментальные и прикладные положения дисциплины для решения конкретных задач (ПК-1);

### **владеть:**

- методологией современного естествознания (ОПК-1);
- навыками и приемами выдвижения новых идей и нахождения путей их реализации (УК-1).
- приемами освоения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой непосредственной деятельности (ПК-1);
- навыками поиска информации, анализа и использования научной информации (ПК-5).

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

### *1. Фундаментальные основы квантовой радиофизики*

Корпускулярно-волновой дуализм. Атомы, молекулы. Твердое тело, зонная теория. Квантовая статистика. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Операторы наблюдаемых физических величин. Ансамбли частиц. Матрица плотности. Процедура перехода к макроскопическим наблюдаемым величинам. Уравнения движения макроскопических величин.

### *2. Электродипольное взаимодействие электромагнитного поля с веществом*

Квазиклассическое приближение. Электродипольное взаимодействие поля с двух-уровневой квантовой системой. Диэлектрическая восприимчивость и удельная проводимость. Электронные, колебательные и вращательные спектры поглощения. Радиоспектроскопия. Инверсия населенности. Отрицательная удельная проводимость. Усиление самовозбужденит. Частота генерации. Нелинейные свойства двухуровневой системы. Эффект насыщения.

### *3. Магнитодипольное взаимодействие электромагнитного поля с веществом*

Магнитный момент элементарных частиц. Орбитальный и спиновый магнитный момент атома. Уравнения движения матрицы плотности частицы со спином  $1/2$ . Стационарное состояние в постоянном магнитном поле. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм. Спонтанная намагниченность. Точка Кюри. Уравнения Блоха. Магнитный резонанс. Электронный парамагнитный резонанс. Ферромагнитный резонанс. Ферритовый вентиль и ферритовый циркулятор. Ядерный магнитный резонанс. Спектрометры на основе ЯМР. Использование ядерного магнитного резонанса в томографии. Спиновое эхо.

### *4. Свойства плазмы и плазмоподобных сред.*

Уравнение Больцмана. Материальные уравнения плазмы. Диэлектрическая восприимчивость в линейном приближении. Особенности распространения электромагнитных волн в плазме. Циклотронный резонанс. Плазменные волны. Плазменная модель металла и полупроводника и сверхпроводника. Разогрев плазмы внешним полем. Нелинейные эффекты.

### *5. Квантовые генераторы и усилители*

Балансные уравнения квантового генератора. Условия самовозбуждения и выходная мощность, Система волновых уравнений квантового генератора. Укороченные уравнения. Динамика квантового генератора.

### *6. Нелинейное взаимодействие полей с веществом.*

Феноменологическое и модельное описание. Квадратичная и кубичная нелинейность. Модуляция света. Самофокусировка и обращение волнового фронта. Оптическая бистабильность. Оптические процессоры и оптические компьютеры.

### *7. Генерация гармоник и параметрическое усиление*

Генерация гармоник. Условия фазового синхронизма. Уравнения связанных волн. Параметрическое усиление. Параметрический оптический генератор.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

1 семестр – дифференцированный зачет.

### Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. В чем состоит смысл корпускулярно - волнового дуализма?
2. В чем состоит принципиальное отличие решений уравнений Максвелла и уравнения Шредингера?
3. Сформулируйте основные постулаты квантовой механики
4. Какой смысл имеет групповая скорость для волновых функций?
5. Чем принципиально отличаются процессы распространения в свободном пространстве группы электромагнитных волн и группы волновых функций?
6. Какой вид имеют собственные функции и собственные значения задачи о «потенциальном ящике» с бесконечно высокими стенками?
7. Опишите свойства собственных функций и собственных значений задачи о движении электрона в поле точечного заряда.
8. Опишите колебательный спектр молекул.
9. Как выглядит вращательный спектр молекул?
10. Каковы особенности движения электрона в периодическом потенциальном поле?
11. Почему в твердом теле образуются зоны запрещенных и разрешенных энергий?
12. Как описывается динамика внутризонного движения?
13. В чем состоит матричная формулировка квантовой механики?
14. Что такое матрица плотности?
15. Как находятся значения наблюдаемых величин через матрицу плотности?
16. Как выглядит уравнение движения матрицы плотности двухуровневой системы?
17. В чем суть разложения воздействия по мультиполям?
18. Уравнение электрической поляризации двухуровневой системы.
19. Линейная восприимчивость двухуровневой системы.
20. От чего зависит ширина линии поглощения?
21. Что такое неоднородное уширение?
22. Что такое эффект насыщения?
23. Что такое магнитодипольное взаимодействие?
24. Перечислите типы и опишите свойства магнитных веществ.
25. Как выглядят уравнения Блоха и его решение в линейном приближении?
26. Как решается задача о взаимодействии электромагнитного поля с электронами зоны проводимости?
27. Электродинамические параметры электронного газа.
28. Что такое циклотронный резонанс?

29. Какие виды фундаментального поглощения электромагнитной энергии Вам известны?

30. При каких условиях возможно усиление электромагнитных волн в среде?

31. Сформулируйте условия самовозбуждения квантового генератора.

32. От чего зависит частота излучения квантового генератора?

33. Как устроены квантовые стандарты частоты?

34. Как наиболее просто найти мощность излучения квантового генератора?

35. Сформулируйте наиболее строгую постановку задачи о квантовом генераторе.

36. Опишите динамику процессов в квантовом генераторе.

37. В чем состоит смысл феноменологического описания нелинейных свойств вещества?

38. Приведите примеры использования квадратичных нелинейных явлений в веществе.

39. Приведите примеры использования кубичных нелинейных явлений в веществе.

40. Что такое фазовое согласование?

41. Как строятся оптические бистабильные элементы?

42. В чем физическая суть явления обращения волнового фронта?

43. Как выглядят уравнения связанных волн?

44. В чем состоит суть параметрического усиления в нелинейной среде?

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Штыков В.В. Квантовая радиофизика. – М.: Изд. Центр Академия, 2009.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. – М.: Либерком, 2015. 672с.
3. Тарасов Л.В. Основы квантовой механики. – М.: УРСС, 2008. 288 с.
4. Тарасов Л.В. Физика лазера. – М.: УРСС, 2011. 456 с.
5. Введение в квантовую оптику: Учебное пособие. Л. В. Тарасов. Изд. 2-е. — М.: Издательство ЛКИ, 2008.
6. . Быков В.П. Лазерная электродинамика. Элементарные и когерентные процессы при взаимодействии лазерного излучения с веществом – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 384 с.
7. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение. – М.: Техносфера, 2006. 432с.
8. Кравченко И.Т. Теория волновых процессов. Изд.3 – М.: УРСС, 2011. 240с.

### Дополнительная литература:

9. Ланда П.С. Автоколебания в распределенных системах. Изд.стереотип.– М.: УРСС, 2015. 320 с.
10. Основы квантовой электроники. Страховский Г.Н., – М. ВШ.1979
11. Сборник задач по курсу «Радиофизика», Лобов Г.Д. 1992, изд. МЭИ.

12. Л. Солимар, Д Уолш. Лекции по электрическим свойствам материалов. М.: Мир, 1991.
13. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. Пер. с англ./ Под редакцией А.А. Гусева.- М.: Наука, 2006. 792 с.
14. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. Пер. с англ./ Под редакцией Ю. А. Ильинского.- М.: Мир, 1972. 384 с.