**Министерство науки и образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Московский физико-технический институт (государственный университет)»**

**МФТИ(ГУ)**

**Кафедра «Лазерные системы и структурированные материалы»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по учебной работе**

**Ю.Н. Волков**

**2012 г**.

.

**Рабочая УЧЕБНАЯ Программа**

**по дисциплине:** **Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом**

**по направлению:** 010900 «Прикладные математика и физика»

**профиль подготовки:** Современные проблемы физики и энергетики

**факультеты:** **ПФЭ**

**кафедра Лазерные системы и структурированные материалы**

**курс:** 4 (бакалавриат)

**семестры:** осенний и весенний **дифф. зачет** 7 **семестр**

**экзамен 8 семестр**

**Трудоёмкость в зач. ед.:** вариативная часть – **4** **зач. ед**.;

**в т.ч.:**

**лекции:** вариативная часть – **66 час.**

**практические (семинарские) занятия: нет**

**лабораторные занятия:** **нет**

**мастер классы, индивид. и групповые консультации:** нет

**самостоятельная работа:** вариативная часть– **28 час**.

**курсовые работы:** нет

**подготовка к экзамену:** вариативная часть – **1 зач. ед.**

**ВСЕГО Аудиторных часов 96**

**Программу составил** д.ф.-м.н., проф. Федоров Михаил Владимирович

**Программа обсуждена на заседании кафедры**

«18» сентября 2012 г.

Заведующий кафедрой академик, профессор И.А.Щербаков

**ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Вариативная часть, в т.ч. :** | \_\_4\_\_\_ зач. ед. |
| Лекции | \_\_66\_\_\_ часов |
| Практические занятия | \_\_нет\_\_ часов |
| Лабораторные работы | \_\_нет\_\_\_ часов |
| Индивидуальные занятия с преподавателем | \_\_нет\_\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия | \_\_28\_\_ часов |
| **Итоговая аттестация** | **Дифф. зачет 7 семестр,**  **экзамен 8 семестр, 1 зач. ед.** |
| **ВСЕГО** | **4 зач. ед.** |

1. **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

***Цель курса –*** Целью курса является изучение основ физики взаимодействия лазерного излучения с атомами и свободными электронами и элементов квантовой оптики.

***Задачами данного курса являются:***

* освоениестудентами базовых знаний в области квантовомеханического описания взаимодействия сильного лазерного поля с атомами и электронами, физики лазеров на свободных электронах, и основных положений квантовой оптики

1. **Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

***Дисциплина*  Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом *включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативным части цикла \_Б.3\_ кода УЦ ООП.***

***Дисциплина* Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом *базируется на циклах Б.2 курса 1,2,3 базовой и вариативных частях.***

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

***Освоение дисциплины* Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом *направлено на формирование следующих общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций бакалавра:***

***а) общекультурные (ОК):***

* способность анализировать научные проблемы и физические процессы, использовать на практике фундаментальные знания, полученные в области естественных и гуманитарных наук (ОК-1);
* способность осваивать новые проблематику, терминологию, методологию и овладевать научными знаниями, владеть навыками самостоятельного обучения (ОК-2);
* способность логически точно, аргументировано и ясно формулировать свою точку зрения, владеть навыками научной и общекультурной дискуссией (ОК-3);
* готовность к творческому взаимодействию с коллегами по работе и научным коллективом, способность и умение выстраивать межличностное взаимодействие, соблюдая уважение к товарищам и проявляя терпимость к иным точкам зрения (ОК-4);

б) профессиональные (ПК):

* способность применять в своей профессиональной деятельности знания, полученные в области физических и математических дисциплин, включая дисциплины: общая физика, теоретическая физика, электродинамика, квантовая механика, статистическая физика, высшая математика (ПК-1);
* способность применять различные методы физических исследований в избранной предметной области: экспериментальные методы, статистические методы обработки экспериментальных данных, вычислительные методы, методы математического и компьютерного моделирования объектов и процессов (ПК-2);
* способность понимать сущность задач, поставленных в ходе профессиональной деятельности, использовать соответствующий физико-математический аппарат для их описания и решения (ПК-3);
* способность использовать знания в области физических и математических дисциплин для дальнейшего освоения дисциплин в соответствии с профилем подготовки (ПК-4);
* способность работать с современным программным обеспечением, приборами и установками в избранной области (ПК-5);
* способность представлять результаты собственной деятельности с использованием современных средств, ориентируясь на потребности аудитории, в том числе в форме отчетов, презентаций, докладов (ПК-6);
* готовность работать с исследовательским оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области (ПК-7);

1. **конкретные Знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины**

**В результате освоения дисциплины «Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом» обучающийся должен:**

* 1. **Знать:**
* фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
* порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
* современные проблемы физики, химии, математики.
  1. **Уметь:**
* абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
* пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
* делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
* производить численные оценки по порядку величины;
* делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
* видеть в технических задачах физическое содержание;
* осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
* получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
* работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
* эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.
  1. **Владеть:**
* навыками освоения большого объема информации;
* навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
* культурой постановки и моделирования физических задач;
* навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
* практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
* навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и макроскопических систем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами;

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Структура дисциплины**

**Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам**

|  |  |
| --- | --- |
| № темы и название | Количество часов |
| 1. Основные понятия квантовой механики. | 2 |
| 2. Взаимодействие электронов и атомов с лазерным полем | 18 |
| 3. Двухуровневая система в резонансном лазерном поле. | 18 |
| 4. Ионизация атомов сильным полем. | 18 |
| 5. Теория Келдыша ионизации атомов сильным лазерным полем | 2 |
| 6. Многофотонное вынужденное тормозное излучение | 2 |
| 7. Лазеры на свободных электронах | 2 |
| 8. Стабилизация атомов | 2 |
| 9. Элементы квантовой оптики и науки о квантовой информации | 2 |
| ВСЕГО (зач. ед.(часов)) | 66 час. (2 зач.ед.) |

**Вид занятий**

**лекции**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость в зач. ед.  (количество часов) |
| 1. | 1. Основные понятия квантовой механики. | 2 |
| 2. | 2. Взаимодействие электронов и атомов с лазерным полем | 18 |
| 3. | 3. Двухуровневая система в резонансном лазерном поле. | 18 |
| 4. | 4. Ионизация атомов сильным полем. | 18 |
| 5. | 5. Теория Келдыша ионизации атомов сильным лазерным полем | 2 |
| 6. | 6. Многофотонное вынужденное тормозное излучение | 2 |
| 7. | 7. Лазеры на свободных электронах | 2 |
| 8. | 8. Стабилизация атомов | 2 |
| 9. | 9. Элементы квантовой оптики и науки о квантовой информации | 2 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 66 |

* 1. **Содержание дисциплины**

**Развёрнутые темы и вопросы по разделам**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Название модулей | Разделы и темы лекционных занятий | Содержание | Объем | |
| Аудиторная работа  (зачетные  единицы/часы) | Самостоятельная работа  (зачетные  единицы/часы) |
| 1 | Основные понятия квантовой механики. | Лекции 1 - 2 | Основные понятия квантовой механики. Уравнение Шредингера и интерпретация волновой функции. Элементы квантовой теории атомов. Атомные уровни, квантовые числа, волновые функции. Атомные единицы. Электронные волновые пакеты. | 2 | 2 |
| 2 | Взаимодействие электронов и атомов с лазерным полем | Лекции 3-4 | Взаимодействие с полем в калибровках «длины» и «скорости». Калибровочная инвариантность. Теория возмущений. Золотое правило Ферми. Составные матричные элементы. Поляризуемость атома и динамический эффект Штарка. Пондеромоторный потенциал. | 18 | 4 |
| 3. | Двухуровневая система в резонансном лазерном поле | Лекции 5-7 | Приближение вращающейся волны.Осцилляции Раби. Адиабатическое и мгновенное включение взаимодействия. Адиабатическое инвертирование. Пи-импульсы. Спонтанное излучение двухуровневой системы во внешнем резонансном поле. | 18 | 4 |
| 4. | Ионизация атомов сильным полем. | Лекции 8-9 | Теорема Флоке. Квазиэнергии. Решение задачи «один уровень+невырожденный континуум». Функции Фано. Автоионизационные состояния. Автоинизационно-подобные состояния. | 18 | 4 |
| 5 | Теория Келдыша ионизации атомов сильным лазерным полем | Лекции 10-12 | Параметр Кедыша. Туннельный и многофотонный пределы. Надпороговая ионизация. Пондеромоторный сдвиг порога ионизации и закрытие каналов. Теория и эксперимент. | 2 | 3 |
| 6 | Многофотонное вынужденное тормозное излучение | Лекция 13-15 | Вероятности многофотонного вынужденного тормозного излучения и поглощения. Эффект Маркуза. Поглощение лазерного излучения в плазме – пределы слабого и сильного поля. Параметры нелинейности для многофотонных процессов и для коэффициента поглощения | 2 | 3 |
| 7 | Лазеры на свободных электронах | Лекции 16-19 | Классические уравнения движения электрона в поле ондулятора и усиливаемой волны. Медленные и быстрые движения. Уравнение математического маятника. Коэффициент усиления. Режимы короткого и длинного ондулятора. Насыщение. Элементы квантовой теории лазеров на свободных электронах. | 2 | 3 |
| 8 | Стабилизация атомов | Лекции 20 и 21 | Ридберговские атомы. Квазиклассические матричные элементы. Применения в теории надпороговой ионизации атомов. Интерференционная стабилизация ридберговских атомов. Стабилизация в сверх-атомном поле по типу Крамерса-Хеннебергера. | 2 | 3 |
| 9 | Элементы квантовой оптики и науки о квантовой информации | Лекции 22-24 | Спонтанное параметрическое рассеяние как метод генерации бифотонных состояний. Перепутывание состояний, его количественные характеристики: параметр Шмидта и конкарренс. Разложение Шмидта. Системы с дискретными и непрерывными переменными. Примеры состояний с очень высокой степенью перепутывания. Соотношения между ширинами распределений, измеряемых по одночастичной схеме и по схеме совпадений. Интерпретация «парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена в терминах ширин распределений, измеряемых по схеме совпадений | 2 | 2 |

**ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость в зач. ед.  (количество часов) |
| 1. | - изучение теоретического курса - выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой; | 16 |
| 2. | - решение задач по заданию (индивидуальному где требуется) преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные. | 12 |
| 3. | Подготовка к экзамену | 1 зач.ед. |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 28 час. + 1 зач.ед. |

1. **Образовательные технологии**

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Вид занятия | Форма проведения занятий | Цель |
| 1 | лекции | Изложение теоретического материала | Получение теоретических знаний по дисциплине |
| 2 | лекции | изложение теоретического материала с помощью презентаций | Повышение степени понимания материала |
| 3 | лекции | Примеры применения результатов теоретических вычислений для конкретных практических применений. | Осознание связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин |
| 4 | Самостоятельная работа студента | Изучение теоретического материала по темам занятий. Подготовка к сдаче зачета с отметкой и сдаче экзамена. | Повышение степени понимания материала |

1. **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Контрольно-измерительные материалы**

**Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 7-ом семестре.**

1. Электронные волновые пакеты в свободном пространстве, расплываниею
2. Калибровка поля и различные представления гамильтониана атома в поле. Калибровочная инвариантность.
3. Волковские функции
4. Золотое правило Ферми
5. Многофотонное возбуждение и ионизация атомов, составные матричные элементы.
6. Динамический эффект Штарка, динамическая поляризуемость атома, пондеромоторный потенциал.
7. Двухуровневая система - приближение вращающейся волны.
8. Квазиэнергетические уровни и функции двухуровневой системы.
9. Решение начальной задачи для двухуровневой системы, частота Раби.
10. Двухуровневая система - адиабатическое включение взаимодействия.
11. Двухуровневая система - решение в точном резонансе, -импульсы.
12. Адиабатическое инвертирование населенностей.
13. Спонтанное излучение двухуровневого атома в резонасном поле. Триплет Моллоу
14. Общая формулировка задачи о квазиэнергиях. Теорема Флоке.
15. Квазиэнергетические решения в системе один уровень + один континуум. Метод Фано.
16. Решение задчи об ионизации атома методом функций Фано.
17. Автоионизационно-подобные состояния. Атом в поле накачки и пробного поля, спектр поглощения пробного поля. Кривая Фано.
18. Автоионизационные состояния. Интерференция переходов в континуум.
19. Ионизация атомов в модели Келдыша. Основные предположения. Параметр Келдыша и его физический смысл. Связь с пондеромоторным потенциалом.
20. Интегрирование методом перевала и получение общей формулы Келдыша.
21. Многофотонный и туннельный режимы ионизации в теории Келдыша.
22. Закрытие каналов и надпороговая ионизация в модели Келдыша.

**Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 8-ом семестре.**

* 1. Многофотонное вынужденное тормозное излучение и поглощение.
  2. Коэффициент поглощения света, связь с вероятностями многофотонного вынужденного излучения и поглощения.
  3. Эффект Маркуза.
  4. Параметры нелинейности для многофотонных процессов и для коэффициента поглощения.
  5. Коэффициент поглощения света в плазме в слабом и сильном поле.
  6. ЛСЭ, что такое ондулятор, быстрые и медленные движения, фаза медленного движения.
  7. ЛСЭ, уравнение маятника, начальные условия, первый интеграл движения.
  8. ЛСЭ, коэффициент поглощения в слабом поле.
  9. ЛСЭ с коротким и длинным ондулятором.
  10. ЛСЭ, параметр ондуляторности.
  11. ЛСЭ, параметр насыщения и коэффициент усиления в сильном поле.
  12. Квазиклассические матричные элементы дипольного момента атома.
  13. Надпороговая ионизация, условия возникновения
  14. Стабилизация атомов в сверхатомном лезерном поле по типу Крамерса-Хеннебергера
  15. Интерференционная стабилизация, условия существования.
  16. Двухуровневая модель в теории интерференционной стабилизации, квазиэнергии
  17. Перепутывание двухчастичных состояний, определение.
  18. Матрица плотности двухчастичных состояний, редуцированная матрицв плотности, моды Шмидта.
  19. Параметр Шмидта для состояний с дискретными и непрерывными переменными
  20. Параметр Шмидта для двойных гауссовых волновых функций
  21. Условные и безусловные вероятности. Одночастичные измерения и измерения по схеме совпадений. Параметр R (отношение ширин распределений)
  22. Соотношение между R и параметром Шмидта в случае двойных гауссовых волновых функций.
  23. Эксперименты по измерению парамера R, теоретическое предсказание и наблюдение состояний с очень высокой стпенью перепутывания.

1. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**
   1. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система)
   2. **Необходимое программное обеспечение**
   3. **Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам** Physica Status Solidi b, Physical Review, J. of Appl. Physics.
2. **Наименование возможных тем курсовых работ –** учебным планом не предусмотрены
3. **ТЕМАТИКА И ФОРМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ –** учебным планом не предусмотрены
4. **ТЕМАТИКА ИТОГОВЫХ РАБОТ –** учебным планом не предусмотрены
5. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**
   1. **Основная литература.**
6. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, Квантовая механика, М.: НАУКА,
7. Л. Аллен, Дж. Эберли Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М. "Мир", 1978г.
8. Н.Б. Делоне и В.П. Крайнов, "Атом в сильном световом поле", М.: Энергоиздат, 1984
9. М.В. Федоров, "Электрон в сильном световом поле", М.: НАУКА, 1991.
10. Н.Б.Делоне, В.П. Крайнов «Нелинейная ионизация атомов лазерным излучением», М., Физматлит, 2001

**Дополнительная литература.**

1. А.С. Давыдов, Квантовая механика, М.: НАУКА, ФИЗМАТГИЗ: М., 1963
2. M.V. Fedorov, Atomic and Free Electrons in a Strong Light Field, World Scientific: Singapore, 1997.

Программу составил

М.В.Федоров, д.ф.-м.н., проф.

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.