

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Талорский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Атомная физика Б1.Б.12

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Специальные радиотехнические системы

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Гайнутдинов Р.Х.

**Рецензент(ы):**

Нефедьев Л.А.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Салахов М. Х.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 634118

Казань

2018

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Гайнутдинов Р.Х.  
Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики, Renat.Gainutdinov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Изучение основных явлений и методов физики атома и формирование физического мышления, позволяющего понимать закономерности микромира.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.Б.12 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.03 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 курсе, 5 семестр.

Дисциплина Б3.Б.5 "Атомная физика" входит в профессиональный цикл (блок Б3) бакалавров по направлению 011200.62 - "Физика" и является обязательной для изучения.

Изучение данной дисциплины базируется на подготовке по физике и математике в рамках Государственного стандарта общего образования, дисциплин подготовки бакалавров по направлению 011200.62 - "Физика"; Б3.Б.2 "Молекулярная физика", Б3.Б.3 "Электричество и магнетизм", Б3.Б.9 "Электродинамика", Б3.Б.4 "Оптика".

Дисциплина является составной частью курса общей физики и служит основой для последующего изучения дисциплин курса общей физики (Б3.Б.6 "Физика атомного ядра и элементарных частиц", Б3.Б.10 "Квантовая теория"), для выполнения лабораторных работ в рамках занятий по дисциплине Б3.Б.7 "Общий физический практикум".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- экспериментальные основы современной атомной физики и квантовой механики;
- закономерности атомной физики, определяющие свойства атомов и периодичность их изменения;
- основные свойства атома водорода.

2. должен уметь:

вычислять энергетические уровни и частоты спектральных линий атома водорода; определять свойства атомов в зависимости от состояний, в которых они находятся.

3. должен владеть:

- методами решения задач, связанных с нахождением свойств атомных состояний;
- современной физической аппаратурой и оборудованием;
- методами работы с современными образовательными и информационными технологиями

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- к решению задач, связанных с нахождением свойств атомных состояний;
- эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;
- работать с современными образовательными и информационными технологиями

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 5 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение в атомную физику.	5	1	2	0	0	
2.	Тема 2. Корпускулярные свойства электромагнитных волн.	5	1	0	2	0	
3.	Тема 3. Волновые свойства микрочастиц.	5	2	8	0	0	
4.	Тема 4. Дискретность атомных состояний.	5	3-5	0	6	0	
5.	Тема 5. Квантовомеханическое описание атомных систем.	5	6-8	10	0	0	
6.	Тема 6. Квантовая механика системы тождественных частиц.	5	9-10	0	4	0	Коллоквиум
7.	Тема 7. Атом водорода и водородоподобные атомы.	5	11-14	14	0	0	
8.	Тема 8. Многоэлектронные атомы.	5	15-17	0	6	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
9.	Тема 9. Строение и свойства молекул.	5	18	1	0	0	
10.	Тема 10. Атом во внешнем поле.	5	18	1	0	0	Коллоквиум
11.	Тема 11. Экзамен	5	18	0	0	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	18	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение в атомную физику.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Введение в атомную физику. Развитие атомистических представлений. Специфика законов микромира. Круг явлений, описываемых атомной физикой.

### Тема 2. Корпускулярные свойства электромагнитных волн.

#### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Корпускулярные свойства электромагнитных волн. Открытие фотоэффекта. Противоречие законов фотоэффекта законам классической физики. Импульс фотона. Томсоновское рассеяние. опыты Баркла. опыты Комптона. Рассеяние света с корпускулярной точки зрения. Эффект Комптона.

### Тема 3. Волновые свойства микрочастиц.

#### *лекционное занятие (8 часа(ов)):*

Волновые свойства микрочастиц. Дифракционный опыт и квантовое поведение электронов. Явление квантовой интерференции. опыты Дэвсона и Джермера. Эффект Рамзауэра-Таунсенда. Гипотеза Луи де Бройля. Уравнения де Бройля. Уравнения Гельмгольца и Шредингера для волн де Бройля. Необходимость вероятностной интерпретации квантовых явлений.

### Тема 4. Дискретность атомных состояний.

#### *практическое занятие (6 часа(ов)):*

Дискретность атомных состояний. Классическая теория излучения черного тела. Дискретность атомных состояний. Атомные спектры. Экспериментальные закономерности в линейчатых спектрах. Несовместимость закономерностей излучения с классическими представлениями. Магнитные свойства атомов. опыты Штерна и Герлаха. Открытие спина электрона. Модель атома Томсона. опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц. Планетарная модель атома. Постулаты Бора . Объяснение комбинационного принципа. Модель атома Бора

### Тема 5. Квантовомеханическое описание атомных систем.

#### *лекционное занятие (10 часа(ов)):*

Квантовомеханическое описание атомных систем. Понятие квантового состояния. Принцип суперпозиции. Понятие об операторах физических величин. Статистические свойства наблюдаемых. Среднее значение физических величин. Уравнение Шредингера. Представления Шредингера и Гейзенберга. Стационарные состояния. Стационарное уравнение Шредингера. Прямоугольная потенциальная яма

### Тема 6. Квантовая механика системы тождественных частиц.

#### *практическое занятие (4 часа(ов)):*

Квантовая механика системы тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы. Понятие о распределении Бозе-Эйнштейна и о распределении Ферми-Дирака. Принцип Паули.

### **Тема 7. Атом водорода и водородоподобные атомы.**

**лекционное занятие (14 часа(ов)):**

Атом водорода и водородоподобные атомы. Квантование момента количества движения. Сферические функции. Уровни энергии и квантовые числа электрона в атоме водорода. Орбитальный и полный моменты количества движения. Квантово механическое правило сложения угловых моментов. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура. Лэмбовский сдвиг. Схема уровней энергии водородоподобного атома. Четность. Взаимодействие атомов с полем излучения. Спектры атомов. Правила отбора.

### **Тема 8. Многоэлектронные атомы.**

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Многоэлектронные атомы. Приближенная характеристика отдельных электронов квантовыми числами  $n$  и  $l$ . Понятие о электронной конфигурации. Применение принципа Паули. Электронные оболочки атома и их заполнение. Векторное сложение угловых моментов и типы связи. Нормальная и  $jj$  связи. Распределение термов при нормальной связи. Правило Хунда. Физическое объяснение периодического закона. Взаимодействие электронов в многоэлектронном атоме. Уровни энергии атома гелия. Уширение спектральных линий. Рентгеновские спектры. Закон Мозели. Явление Оже. Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов.

### **Тема 9. Строение и свойства молекул.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Строение и свойства молекул. Виды движения в молекуле. Форма и размер молекул. Электронные оболочки и химическая связь. Вращательные, колебательные и электронные спектры молекул.

### **Тема 10. Атом во внешнем поле.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Атом во внешнем поле. Связь между механическим и магнитным моментами атомов. Опыт Эйнштейна-де Газа. Расщепление энергетических уровней при помещении атома в магнитное поле. Расщепление линий излучения. Эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

### **Тема 11. Экзамен**

## **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

<b>N</b>	<b>Раздел Дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Неделя семестра</b>	<b>Виды самостоятельной работы студентов</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>	<b>Формы контроля самостоятельной работы</b>
6.	Тема 6. Квантовая механика системы тождественных частиц.	5	9-10	подготовка к коллоквиуму	9	коллоквиум
10.	Тема 10. Атом во внешнем поле.	5	18	подготовка к коллоквиуму	9	коллоквиум
	Итого				18	

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

лекции с использованием демонстрации опытов и ярких явлений в физике;  
 проведение физического практикума;  
 самостоятельная работа студентов;



консультации.

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

**Тема 1. Введение в атомную физику.**

**Тема 2. Корпускулярные свойства электромагнитных волн.**

**Тема 3. Волновые свойства микрочастиц.**

**Тема 4. Дискретность атомных состояний.**

**Тема 5. Квантовомеханическое описание атомных систем.**

**Тема 6. Квантовая механика системы тождественных частиц.**

коллоквиум , примерные вопросы:

1. Противоречие законов фотоэффекта классической физики 2. Импульс фотона 3. Опыт Баркла 4. Когерентная и комптоновская линии 5. Классический аналог эффекта Рамзауэра-Таунсенда 6. Уравнение для волн Де-Бройля 7. Почему состояния описываются лучами? 8. Собственные состояния 9. Основные свойства собственных состояний 10. Как определяются операторы? 11. Почему операторы должны быть эрмитовыми? 12. Смысл состояния  $c_1|f_i_x\rangle + c_2|f_i_y\rangle$ . 13. Оператор  $p_x$  14. Среднее значение  $p_x$  в состоянии  $c_1|f_i_x\rangle + c_2|f_i_y\rangle$ . 15. Неопределенность  $p_x$  в состоянии  $c_1|f_i_x\rangle + c_2|f_i_y\rangle$ . 16. Что можно сказать о наблюдаемых, имеющих общие собственные вектора? 17. Обобщенное соотношение неопределенностей 18. Координатное представление 19. Импульсное представление 20. Канонические коммутативные соотношения 21. Доказать исходя из вида оператора  $p_i$  22. Доказать соотношение неопределенности Гейзенберга 23. Оператор орбитального момента  $L$  24. Уравнение Шредингера 25. Оператор эволюции 26. Динамическое уравнение в картине Гейзенберга 27. Динамическое уравнение в картине взаимодействия 28. Как доказывается несовместность  $L_x$ ,  $L_y$  и  $L_z$  29. Вид оператора  $L_z$  30. Собственный вектор и собственные значения  $L^2$  и  $L_z$  31. Моментный базис 32. Уравнение Шредингера в координатном представлении 33. Уравнение Шредингера в импульсном представлении 34. Стационарное уравнение Шредингера 35. Определить среднее значение координаты  $x$  частицы в яме в основном состоянии. 36. Определить неопределенность координаты  $x$  частицы в яме в основном состоянии. 37. Определить среднее значение импульса  $p_x$  частицы в яме в основном состоянии. 38. Определить неопределенность импульса  $p_x$  частицы в яме в основном состоянии. 39. Энергетические уровни атома водорода 40. Тонкая структура атома водорода 41. Лэмбовский сдвиг 42. Квантовые числа 43. Собственные векторы и значения оператора полного момента количества движения  $J$  44. Спин 45. Инвариантность и законы сохранения 46. Тождественные частицы и статистика. Фермионы и бозоны.

**Тема 7. Атом водорода и водородоподобные атомы.**

**Тема 8. Многоэлектронные атомы.**

**Тема 9. Строение и свойства молекул.**

**Тема 10. Атом во внешнем поле.**

коллоквиум , примерные вопросы:

47. Связь спина и статистики. 48. Какая константа движения связана с инвариантностью относительно зеркального отражения? 49. Определить четность состояния  $^2D_{3/2}$  50. Матрица Паули 51. Многоэлектронные атомы 52. Как определяется число состояний в электронной оболочке 53. В L-S связи определить термы и состояния в конфигурации  $2p3p$  54. В j-j связи определить термы и состояния в конфигурации  $2p3p$  55. Правила отбора 56. Парагелий и ортогелий 57. Разрешен ли переход:  $^3P_2 \rightarrow ^3S_1$ ,  $^3P_2 \rightarrow ^1P_1$ ,  $^3P_2$ , образованного из  $l_1=1$  и  $l_2=0$  в  $^3D_2$ , образованного из  $l_1=2$  и  $l_2=1$ ? 58. Определить конфигурацию и основное состояние:  $^5B$ ;  $^13Ar$ ;  $^20Ca$

**Тема 11. Экзамен**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Вышеприведенные вопросы к коллоквиумам и примерные экзаменационные вопросы ведут к развитию следующих компетенций: ОПК-1

Экзаменационные вопросы:

1. Противоречие законов фотоэффекта законам классической физики
2. Импульс фотона
3. Опыт Баркла
4. Когерентная и комптоновская линии
5. Классический аналог эффекта Рамзауэра-Таунсенда
6. Уравнение для волн де Бройля
7. Почему состояния описываются лучами?
8. Собственные состояния
9. Основные свойства собственных состояний
10. Как определяются операторы?
11. Почему операторы должны быть эрмитовыми?
12. Что можно сказать о наблюдаемых, имеющих общие собственные вектора?
13. Координатное представление
14. Импульсное представление
15. Канонические коммутативные соотношения
16. Доказать соотношения неопределенности Гейзенберга
17. Динамическое уравнение Шредингера
18. Оператор эволюции
19. Динамическое уравнение Шредингера в картине Гейзенберга
20. Динамическое уравнение Шредингера в картине взаимодействия
21. Моментный базис
22. Уравнение Шредингера в координатном представлении
23. Уравнение Шредингера в импульсном представлении
24. Стационарное уравнение Шредингера
25. Энергетические уровни атома водорода
26. Тонкая структура атома водорода
27. Лэмбовский сдвиг
28. Квантовые числа
29. Собственные векторы и значения оператора полного момента количества движения  $J$
30. Спин
31. Инвариантность и законы сохранения
32. Тожественные частицы и статистика. Фермионы и бозоны.
33. Связь спина и статистики
34. Какая константа движения связана с инвариантностью относительно зеркального отражения?
35. Матрица Паули
36. Многоэлектронные атомы
37. Как определяется число состояний в электронной оболочке
38. Правила отбора
39. Парагелий и ортогелий



### 7.1. Основная литература:

Общий курс физики, Т. 5. Атомная и ядерная физика, Сивухин, Дмитрий Васильевич, 2006г.  
Шпольский Э.В., Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику. - "Лань", 2010. - 560 с. - ISBN: 978-5-8114-1005-7 // [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=442](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=442)  
Шпольский Э.В., Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. - "Лань", 2010. - 448 с. - ISBN: 978-5-8114-1006-4 // [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=443](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=443)

### 7.2. Дополнительная литература:

Паршаков А.Н. Введение в квантовую физику. - "Лань", 2010. - 352 с. - ISBN: 978-5-8114-0982-2 // [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=297](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=297)  
Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.3. Оптика. Атомная физика. - "Лань", 2008. - 656 с. - ISBN: 978-5-8114-0665-4 // [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=419](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=419)  
Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.3. Оптика. Физика атомов и молекул. Физика атомного ядра и микрочастиц. - "Лань", 2007. - 512 с. - ISBN: 978-5-8114-0755-2 // [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=508](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=508)

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Гайнутдинов Р.Х., Калачев А.А., Мутыгуллина А.А., Хамадеев М.А., Салахов М.Х. Взаимодействие атомов с полем лазерного излучения и резонансная флуоресценция. Казань 2013, 32 с. - <http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F1215185736/metodichka.VZAIMODEJSTVIE.ATOMOV.S.POLEM..pdf>  
Гайнутдинов, Р.Х. Парадоксы квантовой механики: квантовый парадокс Зенона / Р.Х. Гайнутдинов, А.А. Мутыгуллина. Учебно-методическое пособие для магистрантов первого года обучения физического факультета. Научный редактор - М.Х. Салахов. - 2009. - Казань, КГУ. - 18 с.(1.5 п.л.), 50 экз. - <http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F1341557413/Zeno.paradox.pdf>  
Дополнительные материалы - [http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen\\_atom](http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_atom)  
Коновалова О.А., Гайнутдинов Р.Х., Ильин Г.Г., Сибгатуллин М.Э. Методические указания к выполнению лабора-торной работы по атомной физике ?Гелий-неоновый лазер? //Учебно-методическое пособие.- Казань, 2012, 60 с. - [http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F1793730712/He\\_Ne.pdf](http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F1793730712/He_Ne.pdf)  
Электронный парамагнитный резонанс. Методические указания к выполнению лабораторных работ по физике атомных явлений/ Р.Х. Гайнутдинов, Г.Г. Ильин, Д.И. Камалова, Е.В. Сарандаев, М.Х. Салахов. Учебно-методическое пособие для студентов третьего курса физического факультета. - 2005. - Казань, КГУ. - 22 с.(1.5 п.л.), 50 экз. - [http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F545596313/ZeemanEff\\_EPR.pdf](http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F545596313/ZeemanEff_EPR.pdf)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Атомная физика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Аудитории для проведения потоковых лекций.

Лаборатория общего физического практикума по атомной физике

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки Специальные радиотехнические системы.

Автор(ы):

Гайнутдинов Р.Х. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Нефедьев Л.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.