

Учебно-методическое объединение по классическому университетскому образованию

СОГЛАСОВАНО

Директор Института прикладной  
физики РАН, академик

от « 10 »



Иванов А.И.

2010 г.

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Совета УМО, академик



Сидовичий В.А.

2010 г.

**Примерная  
основная образовательная программа  
высшего профессионального образования  
Направление подготовки бакалавра  
011800 «РАДИОФИЗИКА»**

утверждено приказом Минобрнауки России от 17 сентября 2009 г. № 337

ФГОС ВПО утвержден приказом Минобрнауки России  
от 18 января 2010 г. № 51.

Квалификация (степень) выпускника – «бакалавр»

Нормативный срок освоения программы – 4 года

Форма обучения – очная

## Список профилей направления подготовки бакалавра 011800 «Радиофизика»

### Требования к результатам освоения основной образовательной программы

Результаты освоения ООП ВПО определяются приобретаемыми выпускником компетенциями, т.е. его способностью применять знания, умения и личные качества в соответствии с задачами профессиональной деятельности.

**Выпускник должен обладать:**  
следующими общекультурными компетенциями (ОК):

Коды	Содержание общекультурных компетенций (ОК)
ОК-1	способностью к грамотной письменной и устной коммуникации на русском языке
ОК-2	способностью выстраивать и реализовывать перспективные линии интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования
ОК-3	способностью к постановке цели и выбору путей ее достижения, настойчивость в достижении цели
ОК-4	способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности
ОК-5	способностью следовать этическим и правовым нормам; толерантность; способность к социальной адаптации
ОК-6	способностью работать самостоятельно и в коллективе, способность к культуре социальных отношений
ОК-7	способностью следовать социально-значимым представлениям о здоровом образе жизни
ОК-8	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ОК-9	способностью к овладению базовыми знаниями в области гуманитарных и экономических наук, их использованию при решении социальных и профессиональных задач
ОК-10	способностью самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ОК-11	способностью собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным, научным, социальным и этическим проблемам
ОК-12	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ОК-13	способностью к овладению иностранным языком в объеме, достаточном для чтения и понимания оригинальной литературы по специальности
ОК-14	способностью к овладению базовыми знаниями в области информатики и современных информационных технологий, программными средствами и навыками работы в компьютерных сетях, использованию баз данных и ресурсов Интернет
ОК-15	способностью получить организационно-управленческие навыки

ОК-16	способностью овладения основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
ОК-17	способностью применить средства самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готовность к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
ОК-18	способностью использовать нормативные правовые документы в своей деятельности
ОК-19	способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

профессиональными компетенциями (ПК), **включая:**

Коды	Содержание профессиональных компетенций (ПК)
	<b>В области научно-исследовательской деятельности:</b>
ПК-1	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
ПК-2	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки
ПК-3	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования
ПК-4	способностью использовать основные методы радиофизических измерений
ПК-5	способностью к владению компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий для решения задач в области радиотехники, радиоэлектроники и радиофизики (в соответствии с профилизацией)
ПК-6	способностью к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники
	<b>В области научно-инновационной деятельности:</b>
ПК-7	способностью к овладению методами защиты интеллектуальной собственности
ПК-8	способностью внедрять готовые научные разработки
	<b>В области педагогической деятельности:</b>
ПК-9	способностью к проведению занятий в учебных лабораториях вузов
ПК-10	способностью к овладению методикой проведения учебных занятий в учреждениях системы среднего общего и среднего профессионального образования
	<b>В области организационно-управленческой деятельности:</b>
ПК-11	способностью к организации работы молодежных коллективов исполнителей
ПК-12	способностью к подготовке документации на проведение научно-исследовательской работы (смет, заявок на материалы, оборудование, трудовых договоров), а также поиску в сети Интернет материально-технических и информационных ресурсов для обеспечения научно-исследовательской работы



## ПРИМЕРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН

подготовки бакалавра по направлению 011800 «РАДИОФИЗИКА»

Квалификация (степень) – бакалавр  
 Нормативный срок обучения – 4 года  
 Форма обучения – очная

№ п/п	Наименование циклов дисциплин (в том числе практик)	Трудоемкость		Примерное распределение по семестрам										Форма промежуточной аттестации**	Компетенции	
		Зачетные единицы	Академические часы	1-й семестр	2-й семестр	3-й семестр	4-й семестр	5-й семестр	6-й семестр	7-й семестр	8-й семестр					
				Количество недель												
				17	17	17	17	17	17	16	15					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
<b>Б.1.</b>	<b>Гуманитарный, социальный и экономический цикл</b>	<b>31</b>	<b>1116</b>													
	<b>Базовая часть</b>	<b>15</b>	<b>540</b>													
Б.1.Б.1.	История	5	180	+									Э	ОК-1		
Б.1.Б.2.	Философия	3	108			+							Э	ОК-2		
Б.1.Б.3.	Иностранный язык (английский)	7	252			+	+						3Э	ОК-3		
	<b>Вариативная часть</b>	<b>16</b>	<b>576</b>											ОК-5		
Б.1.В.1.	Экономика	2	72									+	3	ОК-9		
Б.1.В.2.	Вводно-корректировочный курс английского языка	8	288	+	+								33	ОК-11		
	<b>Дисциплины по выбору студента</b>	<b>6</b>	<b>216</b>					+	+	+	+		3333	ОК-12		
<b>Б.2.</b>	<b>Математический и естественнонаучный цикл</b>	<b>75</b>	<b>2700</b>											ОК-13		
	<b>Базовая часть</b>	<b>54</b>	<b>1944</b>											ОК-18		
Модуль	Общая физика													ОК-19		
Б.2.Б.1.	Механика	6	216	+									Э	ОК-8		
Б.2.Б.2.	Молекулярная физика	6	216		+								Э	ОК-10		
Б.2.Б.3.	Электричество и магнетизм	6	216			+							Э	ОК-12		
Б.2.Б.4.	Колебания и волны, оптика	6	216				+						Э	ОК-14		
Б.2.Б.5.	Атомная и ядерная физика	4	144					+					Э	ОК-18		

Модуль	Математика											
Б.2.Б.6.	Математический анализ	8	288	+	+							Э Э
Б.2.Б.7.	Аналитическая геометрия	4	144	+								Э
Б.2.Б.8.	Линейная алгебра	3	108		+							Э
Б.2.Б.9.	Дифференциальные уравнения	5	180		+							Э
Б.2.Б.10.	Теория вероятностей и математическая статистика	4	144				+					Э
Модуль	Информатика											
Б.2.Б.11.	Алгоритмы и языки программирования	2	72			+						
	<b>Вариативная часть</b>	<b>21</b>	<b>756</b>									
Б.2.В.1.	Общий физический практикум	12	432	+	+	+	+	+				3 3 3 3 3
	<b>Дисциплины по выбору студента</b>	9	324	+	+							3 3
<b>Б.3.</b>	<b>Профессиональный цикл</b>	<b>120</b>	<b>4320</b>									
	<b>Базовая часть</b>	<b>50</b>	<b>1800</b>									
Модуль	Методы математической физики											
Б.3.Б.1.	Методы математической физики	4	144				+					Э
Модуль	Теоретическая физика											
Б.3.Б.2.	Теоретическая механика	4	144				+					Э
Б.3.Б.3.	Квантовая механика	2	72					+				3
Б.3.Б.4.	Электродинамика	6	216					+				Э
Б.3.Б.5.	Термодинамика и статистическая физика	2	72						+			3
Модуль	Физика колебательных и волновых процессов											
Б.3.Б.6.	Теория колебаний	3	108					+				3
Б.3.Б.7.	Физика сплошных сред	4	144						+			Э
Б.3.Б.8.	Распространение электромагнитных волн	3	108								+	Э
Б.3.Б.9.	Статистическая радиофизика	5	180							+		Э
Модуль	Электроника											
Б.3.Б.10.	Радиоэлектроника	5	180					+				Э
Б.3.Б.11.	Физическая электроника	2	72							+		3
Б.3.Б.12.	Полупроводниковая электроника	4	144							+		Э
Б.3.Б.13.	Квантовая радиофизика	4	144							+		Э
Б.3.Б.14.	Безопасность жизнедеятельности	2	72								+	3
	<b>Вариативная часть</b>	<b>70</b>	<b>2520</b>									
Б.3.В.1.	Радиофизический практикум	11	396					+	+	+	+	3 3 3 3
Б.3.В.2.	Прикладная электродинамика	6	216						+			Э

ОК-4  
ОК-6  
ОК-11  
ОК-12  
ОК-14  
ОК-15  
ОК-16  
ОК-18  
ОК-19  
ПК-1  
ПК-2  
ПК-3  
ПК-4  
ПК-5  
ПК-6  
ПК-7  
ПК-8

Б.3.В.3.	Квантовая статистическая физика	4	144							+			Э	
Б.3.В.4.	Нелинейные колебания и волны	4	144								+		Э	
Б.3.В.5.	Физика твердого тела	3	108								+		З	
Б.3.В.6.	Микропроцессорные системы	4	144									+	Э	
Б.3.В.7.	Методы радиофизических измерений	2	72									+	З	
	<b>Дисциплины по выбору студента</b>	<b>36</b>	<b>1296</b>			+	+	+	+	+	+			
<b>Б.4.</b>	<b>Физкультура</b>	<b>2</b>	<b>400</b>	+	+	+	+						3 3 3 3	ОК-2 ОК-7 ОК-17
<b>Б.5</b>	<b>Учебная и производственная практики</b>	<b>6</b>	<b>216</b>											ОК-18
	Научно-исследовательская работа	6	216						+	+	+	+	оценка	ОК-19 ПК-9 ПК-10 ПК-11 ПК-12
<b>Б.6.</b>	<b>Итоговая государственная аттестация</b>	<b>6</b>	<b>216</b>											ОК-1
Б.6.1.	Защита квалификационной работы												оценка	ОК-8 ОК-12
Б.6.2.	Государственный экзамен												оценка	ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ПК-5 ПК-6
		<b>240</b>	<b>8640</b> (+328)*											

\* В скобках указаны часы, выделенные на реализацию дисциплины Физическая культура сверх нормативно определенного часового эквивалента для двух зачетных единиц

\*\* Формы промежуточной аттестации указываются вузом

В колонках 5-12 символом «+» указываются семестры для данной дисциплины.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК (АНГЛИЙСКИЙ)**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**



### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины – формирование произносительных навыков и умений, а также формирование умений построения простых и сложных английских предложений; ознакомление с лексическими и грамматическими особенностями английского языка; овладение специальной лексикой (1500 л.е.); совершенствование навыков и умений чтения оригинальных текстов; развитие монологической и диалогической речи, связанной с профессиональной деятельностью на базе специальной лексики; развитие умений реферирования и аннотирования статей по специальности.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Иностранный язык (английский)» относится к дисциплинам базовой части гуманитарного, социального и экономического цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Иностранный язык (английский)» формируются следующие компетенции:

- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность к овладению иностранным языком в объеме, достаточном для чтения и понимания оригинальной литературы по специальности (ОК-13).

В результате изучения студенты должны:

- знать правила произношения английских слов, овладеть орфографическими, грамматическими и лексическими нормами английского языка;
- знать лексический и грамматический минимум по изучаемому материалу;
- владеть всеми видами чтения текстов бытового и общенаучного характера (ознакомительное, просмотровое, поисковое, изучающее);
- иметь представление об общенаучной лексике языка;
- владеть основными умениями перевода;
- уметь пользоваться двуязычным словарем;
- уметь распознавать английскую речь на слух и строить свои собственные высказывания на английском языке, как на бытовом, так и на общенаучную тематику.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц 252 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>252</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Аудиторные занятия	136	68	68
Лекции	-	-	-
Практические занятия (ПЗ)	68	68	68
Самостоятельная работа	80	40	40
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	зачет	36 экзамен

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
------	-------------------	--------	------------	----

1.	Виды речевой коммуникации		*	
2.	Лексический минимум.		*	
3.	Грамматический минимум.		*	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Виды речевой коммуникации.

а) чтение:

- техника чтения вслух;
- ознакомительное чтение;
- просмотровое чтение;
- поисковое чтение;
- изучающее чтение.

б) говорение: подготовленная и неподготовленная монологическая речь на основе изученного материала: Comparing Past with Present, Getting to know smb., Asking Favours, Agreeing or Disagreeing, Auxiliary Verbs, Past Simple –ed endings, Stress and Sounds, Strong and Weak Forms of *Have*, Sentence Stress, Linking, Word Stress.

в) письмо:

- составление плана прочитанного;
- E-mail, Curriculum Vitae, a Review, a Narrative.

г) аудирование: понимание на слух монологическую и диалогическую речь.

### Раздел 2. Лексический минимум.

а) общеупотребительная лексика, усвоенная на I курсе (1500 л.ед.), на II курсе (1500 л.ед.)

б) общенаучная лексика.

### Раздел 3. Грамматический минимум.

System of Tenses, Active/Passive Voice, Types of Questions, Conditionals ( Type I-II); Adjectives: Comparatives/ Superlatives, -ed/ -ing Forms; Modal Verbs; Polite Requests/ Obligations/ Permissions; Reported Speech; Sequence of Tenses; Infinitive ( Forms and Functions); Participle (Forms and Functions); Gerund (Forms and Functions); Words Substitutes.

## 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Бакунов М.И., Борисова Л.Т. I am a Radiophysicist.//Учебное пособие (Тексты для чтения и дискуссий). Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2005, 95с.
2. Борисова Л.Т., Напалкова И.Н., Шестакова Н.Б. Up-to-Date Problems of Radiophysics (seminars and conferences), ННГУ, 2004, 42 с.
3. Cunningham S., Moor P. New Cutting Edge, Intermediate//Изд-во Longman, 2005, 176 с.
4. Kay S., Jones V. Inside Out, Pre-Intermediate// Изд. Macmillan, 2002, 143 с.
5. Gude K., Wildman J. Matrix, Intermediate// Изд.-во Oxford, 2001, 152 с.
6. Esteras R. S. Infotech, English for Computer Users, Intermediate// Изд. Cambridge, 2002, 159 с.

б) дополнительная литература:

1. Борисова Л. Т., Шестакова Н.Б. English for Beginners// Изд-во ННГУ, 2003,102 с. Оригинальные тексты на английском языке.
2. Научные статьи из периодических изданий.

### 3. Двухязычные словари.

#### 8. Вопросы для контроля

8.1. Контрольные работы: лексико-грамматические тесты с учетом изученной лексики и обязательных грамматических тем.

8.2. Внеаудиторное чтение оригинальных текстов. Форма проверки: выборочный перевод, ответы на вопросы, передача извлеченной информации на английском языке.

8.3. Вопросы контроля на экзамене:

1. Чтение вслух текста А на английском языке общенаучного характера (объем 1000-1200 зн.)

2. Письменный перевод текста А на русский язык; режим выполнения 1-2 вопросов – 45 мин.

3. Передача на английском языке общего содержания текста В общенаучного характера (объем 800-1000 зн.); режим выполнения 15-20 мин.

4. Беседа по следующим разговорным темам:

- Famous scientist (physicist, radiophysicist, mathematician);
- I am a radiophysicist;
- Radiophysics Department;
- Nizhni Novgorod State University;
- The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

**ОБЩАЯ ФИЗИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи модуля

Цель модуля «Общая физика» состоит в формировании у студента целостной системы знаний по основам классической и современной физики, выработке навыков построения физических моделей и решения физических задач. Модуль является фундаментом для последующего изучения профессиональных и профильных дисциплин.

### 2. Место модуля в структуре программы бакалавра:

Модуль «Общая физика» относится к модулям базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания модуля

В результате освоения модуля «Общая физика» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения модуля студенты должны иметь представление:

- об основных проблемах современной физики и о роли физики в научно-техническом прогрессе;
- о соотношении дискретности и непрерывности, порядка и беспорядка, динамических и статических закономерностей в природе;
- о фундаментальных физических константах;
- о роли симметрии в природе;

знать:

- физические модели, отражающие свойства реального мира;
- основные физические законы, их математическое выражение и границы применимости;

уметь:

- практически применять теоретические знания, методы теоретического и экспериментального исследования при решении физических задач;

иметь навыки:

- применения математического аппарата для решения физических задач.

### 4. Объем модуля и виды учебной работы

Общая трудоемкость модуля составляет 28 зачетных единиц 1008 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры				
		1	2	3	4	5
<b>Общая трудоемкость модуля</b>	<b>1008</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>144</b>
Аудиторные занятия	510	102	119	119	102	68
Лекции	306	51	68	68	68	51
Практические занятия (ПЗ)	204	51	51	51	34	17
Семинары (С)						
Лабораторные работы (ЛР)						
Другие виды аудиторных						

занятий						
Самостоятельная работа	318	78	61	61	78	40
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графическая работа						
Реферат						
Другие виды самостоятельной работы						
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	180	36 экзамен	36 экзамен	36 экзамен	36 экзамен	36 экзамен

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Механика.	*	*	
2.	Молекулярная физика.	*	*	
3.	Электричество и магнетизм.	*	*	
4.	Колебания и волны, оптика.	*	*	
5.	Атомная и ядерная физика.	*	*	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### Раздел 1. Механика

##### 1.1. Введение

Предмет современной физики. Методы физического исследования. Идеализация реальных объектов и взаимосвязей между ними. Принципиальная роль физического эксперимента.

##### 1.2. Кинематика материальной точки

Характерные пространственно-временные масштабы. Границы применимости классической механики. Способы описания движения материальной точки. Системы отсчета. Скорость и ускорение. Тангенциальное и нормальное ускорения. Вращательное движение, угловая скорость и угловое ускорение.

##### 1.3. Законы Ньютона

Первый, второй и третий законы Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Второй закон Ньютона как физический закон, понятия силы и инертной массы. Примеры решения динамических задач

Второй закон Ньютона как дифференциальное уравнение движения. Роль начальных условий. Основные типы динамических задач. Движение материальной точки под действием постоянной силы. Движение под действием силы, пропорциональной скорости. Примеры "упругой" силы, гармонический осциллятор. Динамика вращательного движения материальной точки.

##### 1.4. Некоторые теоремы и интегралы движения для материальной точки

Уравнение моментов для материальной точки. Закон сохранения момента импульса в центральном силовом поле. Механическая работа и мощность. Консервативные силы. Потенциальная энергия материальной точки. Теорема о кинетической энергии. Механическая энергия, теорема об изменении механической энергии. Закон сохранения механической энергии материальной точки в поле консервативных сил. Потенциальная энергия и устойчивость состояния равновесия материальной точки. Одномерное движение материальной точки в потенциальном поле, финитные и инфинитные движения. Движение в центрально-симметричном поле. Кеплерова задача.

##### 1.5. Электромагнитные силы

Электрический заряд. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Понятие потенциала. Вычисление полей по принципу суперпозиции. Поле электрического диполя. Вектор индукции магнитного поля, сила Лоренца. Действие магнитного поля на проводник с током, сила Ампера. Момент сил, действующих на рамку с током.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Движение частицы в однородном магнитном поле. Дрейфовое движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Продольный дрейф в слабонеоднородном магнитном поле, магнитные ловушки. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла. Принцип действия МГД-генераторов.

#### 1.6. Молекулярные силы

Взаимодействие диполей. Природа и особенности молекулярных сил.

#### 1.7. Деформации тел и упругие силы

Деформации растяжения и сдвига. Закон Гука. Упругие константы вещества. Сложные деформации (изгиб, кручение). Отклонения от закона Гука при больших деформациях (нелинейность, пластичность). Электромагнитная природа упругих сил, понятие о дислокациях.

#### 1.8. Силы трения

Сухое трение. Закон Амонтона-Кулона. Трение скольжения. Работа сил трения. Вязкое трение, формула Ньютона. Ламинарное течение вязкой жидкости в трубе, формула Пуазейля. Силы, действующие на тела, движущиеся в вязкой среде. Закон Стокса. Аэродинамические силы. Анализ аэродинамических сил методом подобия и размерностей, число Рейнольдса. Понятие о сверхтекучести.

#### 1.9. Тяготение и силы инерции

Силы тяготения. Вывод закона тяготения из законов Кеплера для планет. Эквивалентность гравитационной и инертной масс. Гравитационное поле, гравитационный потенциал. Движение материальной точки в поле тяготения. Первая, вторая и третья космические скорости. Вес и невесомость тел.

Неинерциальные системы отсчета. Система отсчета, ускоренно движущаяся относительно инерциальной. Силы инерции. Вращающаяся система отсчета. Теорема Кориолиса. Центробежная и кориолисова силы. Земля как неинерциальная система отсчета. Маятник Фуко. Аналогия между силами инерции и тяготения.

#### 1.10. Основы специальной теории относительности

Опыты Физо и Майкельсона. Преобразования Лоренца (с выводом) и некоторые следствия из них (относительность понятия времени, лоренцево сокращение длины, замедление хода движущихся часов). Понятие интервала. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистская масса. Связь релятивистской массы с энергией, а также энергии с импульсом. Фотон как частица с нулевой массой покоя. Давление света. Искривление световых лучей и смещение частоты квантов в поле тяготения.

#### 1.11. Основные теоремы и законы сохранения для системы материальных точек

Импульс системы материальных точек. Теорема об изменении импульса системы материальных точек. Теорема о движении центра масс. Динамика материальной точки с переменной массой, уравнение Мещерского. Реактивная сила. Задача Циолковского, ракеты. Момент импульса систем материальных точек. Уравнение моментов для системы материальных точек. Закон сохранения момента импульса. Уравнение моментов относительно оси. Кинетическая и потенциальная энергии для системы материальных точек. Механическая энергия системы материальных точек и условия ее сохранения. Понятие о внутренней энергии. Связь законов сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек со свойствами симметрии пространства и времени. Примеры применения законов сохранения для системы материальных точек. Явление удара (столкновение частиц). Абсолютно неупругий и абсолютно упругий удары двух частиц. Закон Бернулли для стационарного потока идеальной жидкости. Рассеяние фотонов на электронах, эффект Комптона.

### 1.12. Динамика твердого тела

Кинематические и динамические характеристики твердого тела. Применение уравнения движения центра масс и уравнения моментов для твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции. Теорема Гюйгенса-Штейнера. Связь между моментом импульса и угловой скоростью твердого тела в общем случае, тензор инерции. Свободные оси. Кинетическая энергия и работа при вращении вокруг неподвижной оси. Плоское движение твердого тела, понятие мгновенной оси вращения. Качение тел, трение качения. Кинетическая энергия при плоском движении. Приближенная теория гироскопа. Прецессионное движение гироскопа. Гироскопические силы.

## Раздел 2. Молекулярная физика

### 2.1. Элементы кинетической теории газов

Давление идеального газа. Уравнения состояния идеального газа. Внутренняя энергия идеального газа и ее связь с температурой. Фотонный газ.

### 2.2. Статистические распределения

Статистическое описание системы из большого числа частиц. Статистические законы, средние значения и флуктуации физических величин. Пример - распределение частиц по объему. Распределение молекул газа по скоростям. Равновесное распределение Максвелла (по вектору и модулю скорости) и его свойства, наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная скорости. Распределение Больцмана и примеры его применения.

### 2.3. Классическая теория теплоемкости

Теплоемкость газов, теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Недостатки классической теории теплоемкости.

### 2.4. Явления переноса

Средняя длина свободного пробега молекул в газах. Диффузия, внутреннее трение, теплопроводность газов. Особенности ультраразреженных газов. Вычисление среднего квадрата смещения броуновских частиц. Измерение числа Авогадро.

### 2.5. Реальные газы и жидкости

Уравнение Ван-дер-Ваальса и его свойства. Фазовые переходы. Критическая температура, критические параметры.

### 2.6. Термодинамический подход к описанию макросистем

Термодинамическое равновесие, общий принцип термодинамики. Понятие температуры, нулевой принцип термодинамики. Классификация процессов.

### 2.7. Первый принцип термодинамики

Опыты Джоуля, понятие о внутренней энергии. Работа и количество теплоты. Первый принцип термодинамики. Соотношение Майера. Уравнение адиабаты для идеального газа. Внутренняя энергия идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса. Процессы Джоуля-Гей-Люссака и Джоуля-Томпсона.

### 2.8. Второй принцип термодинамики

Проблема превращения теплоты в работу. Формулировки второго принципа термодинамики для тепловых и холодильных машин. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Приведенное количество теплоты, равенство Клаузиуса для обратимых процессов. Энтропия идеального газа. Основное уравнение термодинамики и некоторые его следствия (соотношения взаимности, термомеханические эффекты, уравнение Клапейрона-Клаузиуса). Необратимые процессы, неравенство Клаузиуса. Возрастание энтропии при необратимых процессах (с примерами). Статистический смысл энтропии и второго принципа термодинамики.

## Раздел 3. Электричество и магнетизм

### 3.1. Электрическое поле

Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Теорема Гаусса (с примерами применения). Теорема о циркуляции вектора напряженности.



Потенциал.

### 3.2. Проводники в электростатическом поле

Условие равновесия свободных зарядов в проводнике и некоторые следствия из него. Электростатическая экранировка. Электроемкость. Конденсаторы. Типы электростатических задач. Теорема единственности.

### 3.3. Энергия электрического поля

Энергия системы точечных зарядов. Энергия заряженного проводника и конденсатора. Плотность энергии поля.

### 3.4. Электрическое поле в диэлектриках

Понятие макроскопического (усредненного) поля в среде. Поляризованность (вектор поляризации). Поляризационные (связанные) заряды. Вектор электрической индукции. Диэлектрическая проницаемость. Уравнения электрического поля в диэлектриках. Граничные условия для векторов напряженности и индукции. Энергия электрического поля в среде. Пондеромоторные силы в электрическом поле. Механизмы поляризуемости диэлектриков. Нелинейные диэлектрики. Сегнетоэлектрики.

### 3.5. Стационарный электрический ток

Электрическое поле внутри и вне проводника с током. Закон Ома. Электродвижущая сила (ЭДС) и падение напряжения. Сложные цепи, правила Кирхгофа.

### 3.6. Магнитное поле проводников с током

Закон Био-Савара-Лапласа. Поле движущегося заряда. Магнитный поток. Теорема о циркуляции вектора индукции.

### 3.7. Действие магнитного поля на проводники с током

Закон Ампера. Пондеромоторные взаимодействия проводников с током.

### 3.8. Векторный потенциал

Описание магнитного поля при помощи векторного потенциала. Вычисление векторного потенциала заданного распределения токов.

### 3.9. Магнитное поле в веществе

Намагниченность (вектор намагничения). Напряженность магнитного поля в среде. Теорема о циркуляции вектора напряженности. Магнитная проницаемость. Граничные условия и способы измерения векторов индукции и напряженности в магнетиках. Природа магнитных свойств магнетиков. Диа-, пара- и ферромагнетики. Постоянные магниты.

### 3.10. Явление электромагнитной индукции

ЭДС индукции в движущихся проводниках. Закон Фарадея. Вихревое электрическое поле. Принцип действия динамо-машины и электромотора. Индукционный ускоритель электронов (бетатрон). Измерение циркуляции вектора магнитной индукции при помощи пояса Роговского.

### 3.11. Взаимоиндукция и самоиндукция

Индуктивность. Процессы установления в контуре с индуктивностью, электромеханические аналогии. Коэффициент взаимоиנדукции.

### 3.12. Магнитная энергия

Магнитная энергия одиночного контура и 2-х связанных контуров. Плотность энергии магнитного поля.

### 3.13. Электромагнитное поле в вакууме

Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Волновые уравнения. Существование электромагнитных волн.

### 3.14. Система уравнений Максвелла для полей в веществе

Уравнения полей и материальные уравнения. Особенности поляризации диэлектриков в переменных полях. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Системы единиц.

### 3.15. Квазистационарные токи

Свойства идеальных элементов. Расчет цепей синусоидального тока методом векторных диаграмм и комплексных амплитуд. Импеданс двухполюсников. Работа и мощность в

цепи переменного тока.

### 3.16. Механизмы проводимости некоторых проводников

Классическая электронная теория проводимости металлов и ее недостатки. Электрический ток в электролитах, в плазме. Полупроводники. Введение в зонную теорию проводимости кристаллов.

### 3.17. Электрические явления в контактах

Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. Явления в контактах проводников первого и второго рода, химические источники тока. Контактные явления в полупроводниках, полупроводниковые диоды.

## **Раздел 4. Колебания и волны, оптика**

### 4.1. Линейные колебательные системы

Линейные колебательные системы с одной степенью свободы (с примерами). Свободные колебания гармонического осциллятора. Характеристики затухания. Вынужденные колебания, резонансные кривые. Процессы установления колебаний, условия неискаженного воспроизведения сигналов колебательным контуром. Спектральное разложение в радиофизике, колебательный контур как спектральный прибор. Колебательные системы с несколькими степенями свободы, связанные колебания.

### 4.2. Параметрические и нелинейные колебательные системы

Линейные осцилляторы с переменными параметрами, параметрический резонанс. Особенности нелинейного осциллятора (ангармонизм, генерация гармоник, асимметрия резонансной кривой). Автоколебательные системы.

### 4.3. Волновые процессы. Кинематика волн

Понятие волны. Волновое уравнение. Гармонические волны. Плоские и сферические волны. Распространение сигналов (волновых пакетов). Распространение тригармонической волны. Условие пренебрежения дисперсионным искажением сигнала.

### 4.4. Интерференция синусоидальных волн

Примеры интерференции волн (две плоские волны, две сферические волны). Интерференция в тонких пластинах. Интерферометры (двухлучевые и многолучевые).

### 4.5. Упругие волны

Продольные волны в стержне, вывод волнового уравнения. Энергетические соотношения в упругой волне. Акустические волны в газах и жидкостях.

Явления на границе двух сред при нормальном падении упругих волн. Собственные колебания в ограниченных системах.

### 4.6. Электромагнитные волны. Электромагнитная теория света

Вывод волнового уравнения из уравнений Максвелла. Плоские волны. Бегущие и стоячие волны. Поляризация электромагнитных волн. Импеданс. Энергетические соотношения для электромагнитных волн, теорема Пойнтинга.

Отражение и преломление волн на границе двух сред. Закон Снеллиуса. Формула Френеля. Явления Брюстера и полного (внутреннего) отражения. Излучение электромагнитных волн. Поле излучения элементарного вибратора. Диаграмма направленности. Полуволновой вибратор, сложные излучатели. Излучение движущихся заряженных частиц. Классическая модель “светящегося” атома. Молекулярный механизм отражения, преломления, дисперсии.

### 4.7. Распространение света в анизотропных средах

Оптическая анизотропия кристаллов. Нормальные волны в одноосном кристалле: дисперсионные свойства, поляризационная структура. Двойное преломление. Построение Гюйгенса. Поляризационные приборы. Интерференция поляризованных лучей. Искусственная анизотропия. Оптическая активность. Понятие о пространственной дисперсии.

### 4.8. Дифракция волн

Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция на структурах с осевой симметрией. Зоны

Френеля, зонная пластинка. Дифракция Френеля на щели и прямоугольном отверстии. Спираль Корню. Предельные случаи дифракции: геометрическая оптика и дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка как спектральный прибор, ее спектральные характеристики.

Роль дифракционных явлений в некоторых оптических приборах. Предельные возможности направленных излучателей, фокусирующих устройств, объективов телескопа и микроскопа. Понятие о голографии.

#### 4.9. Статистические свойства волновых полей

Понятие о временной и пространственной когерентности, их связь с характеристиками источников света. Влияние когерентных свойств света на наблюдение интерференции и дифракции. Источники когерентного света. Лазеры.

#### 4.10. Нелинейные волны

Понятие о нелинейных волновых процессах: генерация гармоник, солитоны, ударные волны, самофокусировка волновых пучков.

### **Раздел 5. Атомная и ядерная физика**

#### 5.1. Развитие квантовых представлений

Корпускулярные свойства света. Явление фотоэффекта. Эффект Комптона. Законы равновесного излучения (Стефана-Больцмана, Вина, Рэлея-Джинса, Планка). Модель атома Бора. Опыты Франка и Герца. Волновые свойства частиц. Статистический смысл волновой функции. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Роль измерительного прибора. Операторы координаты, импульса, момента импульса и энергии в квантовой механике.

#### 5.2. Введение в аппарат физики микрообъектов

Стационарное и нестационарное уравнение Шредингера. Свойства волновых функций. Волновая функция и уровни энергии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме. Решение стационарного уравнения Шредингера для потенциального барьера. Туннельный эффект. Коэффициент прохождения частицы через потенциальный барьер. Холодная эмиссия электронов из металла.

#### 5.3. Энергетические состояния и спектры излучения водородоподобных атомов

Уравнение Шредингера для частицы в центральном поле. Решение уравнения Шредингера для водородоподобного атома. Уровни энергии, главное квантовое число. Вероятность пространственного распределения электрона в атоме. Азимутальное и магнитное квантовые числа. Спектры водородоподобных атомов.

#### 5.4. Орбитальный и спиновый моменты электрона

Гиромангнитное отношение. Опыт Штерна-Герлаха. Бозоны и фермионы. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий. Уширение спектральных линий.

#### 5.5. Многоэлектронные атомы

Типы связей электронов в атоме. Принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева. Правила отбора при излучении многоэлектронных атомов. Оптические спектры щелочных металлов. Эффект Зеемана.

#### 5.6. Квантовая статистика

Распределение Бозе-Эйнштейна. Формула Планка и классическая формула Рэлея-Джинса. Переход к классической статистике Максвелла-Больцмана. Конденсация Бозе-газа. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми.

#### 5.7. Квантовые свойства твердого тела

Типы связей атомов в твердых телах. Расщепление энергетических уровней во взаимодействующих системах атомов. Модель атомной цепочки с потенциальным рельефом прямоугольной формы (модель Кронига-Пенни). Дисперсионные кривые для свободного электрона и электрона в кристалле. Понятие эффективной массы. Электропроводность твердых тел. Собственная и примесная проводимость

полупроводников. Контакт двух вырожденных полупроводников.

### 5.8. Элементарные частицы

Понятие элементарной частицы. Понятие распада элементарных частиц. Приборы и устройства для наблюдения и изучения элементарных частиц. Энергия связи. Фундаментальные взаимодействия. Обменные взаимодействия. Фейнмановские диаграммы. Виртуальные частицы. Сильное взаимодействие. Мезоны. Слабое взаимодействие. Бозоны. Электромагнитное взаимодействие. Гравитационное взаимодействие. Нуклоны. Изотопический спин. Странные частицы. Странность. Гиперзаряд. Классификация элементарных частиц. Законы сохранения в физике элементарных частиц. Кварки.

### 5.9. Физика атомного ядра

Ядро. Стабильные и нестабильные ядра, их основные характеристики. Спин ядра. Масса атомных ядер и энергия связи нуклонов в ядре. Формула Вейцеккера. Модели атомных ядер. Капельная модель. Оболочечная модель. Радиоактивность ядер. Закон радиоактивного распада. Основные типы распада ядер.

## 5.3 Перечень тем практических занятий

### Раздел 1. Механика

1. Кинематика прямолинейного движения.
2. Кинематика криволинейного движения.
3. Кинематика вращательного движения. Преобразования Галилея.
4. Движение под действием постоянной силы.
5. Простейшие системы тел. Кинематические связи.
6. Движение под действием силы, зависящей от времени.
7. Движение под действием силы, зависящей от скорости.
8. Движение под действием квазиупругой силы.
9. Динамика вращательного движения.
10. Работа и энергия.
11. Момент импульса.
12. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях.
13. Силы сухого трения.
14. Упругие силы и деформации.
15. Неинерциальные системы отсчета.
16. Кинематика специальной теории относительности.
17. Релятивистская динамика.
18. Импульс.
19. Импульс. Центр масс.
20. Динамика тела переменной массы.
21. Работа и энергия (для системы материальных точек).
22. Соударения.
23. Уравнение Бернулли.
24. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции.
25. Вращение твердого тела вокруг подвижной оси.
26. Плоское движение твердого тела.
27. Соударения твердых тел.

### Раздел 2. Молекулярная физика

1. Биномиальное распределение. Флуктуации.
2. Распределение Максвелла.
3. Распределение Больцмана.

4. Явления переноса.
5. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
6. Теплоемкость. Политропические процессы.
7. Реальные газы. Фазовые превращения.
8. Тепловые машины.
9. Энтропия.

### **Раздел 3. Электричество и магнетизм**

1. Закон Кулона. Принцип суперпозиции.
2. Теорема Гаусса. Теорема о циркуляции.
3. Потенциал электростатического поля.
4. Взаимосвязь поля и потенциала. Поле системы двух точечных зарядов.
5. Проводники в электростатическом поле (симметричные поля).
6. Проводники в электростатическом поле (метод изображений).
7. Проводники в электростатическом поле (ёмкость).
8. Работа и энергия в электростатике.
9. Электрические поля в диэлектриках (симметричные поля).
10. Электрические поля в диэлектриках (пандеромоторные силы, метод изображений).
11. Электрические поля в диэлектриках (пироэлектрики)
12. Закон Био-Савара-Лапласа.
13. Циркуляция магнитного поля. Сила Ампера.
14. Магнитное поле в веществе.
15. Магнитное поле в веществе. Ферромагнетики.
16. Закон электромагнитной индукции (индукция в движущихся проводниках).
17. Закон электромагнитной индукции (вихревое электрическое поле).
18. Самоиндукция. Магнитная энергия.
19. Взаимная индукция. Свободные контуры.
20. Уравнения Максвелла.
21. Сложение скалярных гармонических колебаний одинаковой частоты.
22. Расчет цепей переменного тока.

### **Раздел 4. Колебания и волны, оптика**

1. Сложение синхронных векторных колебаний.
2. Свободные колебания линейного осциллятора.
3. Вынужденные колебания линейного осциллятора.
4. Переходные процессы.
5. Связанные колебания.
6. Эффект Доплера.
7. Сложение эквидистантных по фазе колебаний. Кинематика волн.
8. Интерференция.
9. Интерференция. Влияние немонохроматичности и размеров источника.
10. Интерференция в тонких пленках.
11. Вектор Пойнтинга. Формула Лармора.
12. Вибраторы.
13. Кристаллооптика.
14. Дифракция на структурах с осевой симметрией.
15. Дифракция на прямоугольных структурах.

### **Раздел 5. Атомная и ядерная физика**

1. Фотоэффект.
2. Эффект Комптона.
3. Тепловое излучение.

4. Атом Бора.
5. Волны де Бройля.
6. Уравнение Шредингера.
7. Потенциальные ямы.
8. Потенциальные барьеры.
9. Соотношение неопределенностей.
10. Момент импульса. Суммарный момент импульса.
11. Электронные состояния водородоподобных атомов.
12. Спектр излучения водородоподобных атомов.
13. Изотопический сдвиг и спин-орбитальное взаимодействие водородоподобных атомов.
14. Спектры щелочных металлов. Ридберговские поправки.
15. Правила отбора при излучении и поглощении света атомами.
16. Тонкая структура спектральных линий. Эффект Зеемана.
17. Уширение спектральных линий.

#### 6. Лабораторный практикум

Предусмотрен в курсе «Общий физический практикум».

#### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

##### 7.1. Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. 1. Механика. М.: Наука, 1989.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. II. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975; 1979; 1990.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. 3. Электричество. М.: Наука, 1977, 1983.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т.4, Оптика. М.: Наука, 1980
5. Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика. Ч. 1. Атомная физика. М.: Наука, 1986.
6. Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика. Ч. 2. Ядерная физика. М.: Наука, 1989.
7. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. М.: Высшая школа, 1976.
8. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа. 1987.
9. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа, 1983.
10. Матвеев А.Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
11. Матвеев А.Н. Атомная физика. М.: Высшая школа, 1989.
12. Горелик Г.С. Колебания и волны. М.: Физматгиз, 1959.
13. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. М.: Наука, 1971.
14. Иродов И.Е. Задачи по общей физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. - М.: Наука, 1988.
15. Сборник задач по общему курсу физики. Механика. Под ред. И.А.Яковлева. М.: Наука, 1977.
16. Сборник задач по общему курсу физики. Термодинамика и молекулярная физика. Под ред. Д.В.Сивухина. М.: Наука, 1976.
17. Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм. Под ред. И.Е. Яковлева. М.: Наука, 1977.
18. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика. /Под ред. Д.В.Сивухина. М.:Наука, 1977.
19. Сахаров Д.И. Сборник задач по физике. М., 1967.

б) дополнительная литература:

1. Хайкин С.Э. Физические основы механики. М.: Наука, 1971.
2. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 1-3. М.: Наука, 1987-1989.
3. Берклеевский курс физики, т. 1-5. М.: Наука, 1972-1977.
4. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.. Фейнмановские лекции по физике. Т. 1-9. М.: Мир,

1967-1977.

5. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.Д. Теория волн. М.: Наука, 1979.
6. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.
7. Нерсесов Э.А. Основные законы атомной и ядерной физики. М.: Высшая школа. 1988.
8. Спроул Р. Современная физика. Квантовая физика атомов, твердого тела и ядер. М.: Наука, 1974.
9. Шпольский Э.В. Атомная физика. т. 1, 2. М.: Наука, 1984.
10. Борн М. Атомная физика. М.: Мир, 1967.
11. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
12. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.
13. Хелзен Ф., Мартин А. Кварки и лептоны. Введение в физику частиц. М.: Мир, 1987.

## 8. Вопросы для контроля

### **Раздел 1. Механика**

1. Координатный и векторный способы описания движения материальной точки. Скорость и ускорение.
2. Естественный способ описания движения материальной точки. Нормальное и тангенциальное ускорения.
3. Вращательное движение материальной точки. Угловая скорость и угловое ускорение. Связь линейных и угловых характеристик движения.
4. Преобразования Галилея. Пересчет скорости и ускорения в поступательно движущуюся систему отсчета.
5. Первый закон Ньютона – закон инерции. Инерциальные системы отсчета.
6. Второй закон Ньютона – закон ускорений. Понятия силы и массы.
7. Третий закон Ньютона – закон взаимодействий.
8. Второй закон Ньютона как дифференциальное уравнение движения. Пример – движение под действием постоянной силы.
9. Второй закон Ньютона как дифференциальное уравнение движения. Пример – прямолинейное движение при наличии тормозящей силы, пропорциональной скорости.
10. Гармонические колебания – движение под действием квазиупругой силы. Уравнение гармонического осциллятора.
11. Момент импульса материальной точки и теорема о его изменении. Закон сохранения момента импульса. Пример – движение в поле центральной силы.
12. Работа силы (с примерами). Мощность.
13. Потенциальные силы. Потенциальная энергия частицы в силовом поле (с примерами).
14. Теоремы об изменении кинетической и механической энергий материальной точки. Закон сохранения механической энергии.
15. Одномерное движение частицы в заданном потенциальном рельефе.
16. Задача Кеплера.
17. Закон Кулона. Принцип суперпозиции. Напряженность и потенциал электрического поля.
18. Поле электрического диполя.
19. Диполь во внешнем электрическом поле.
20. Сила Ампера.
21. Виток с током в магнитном поле.
22. Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле. Циклотронная частота. Ларморовский радиус. Циклотрон. Магнитная фокусировка.
23. Сила Лоренца. Движение заряженной частицы в параллельных электрическом и магнитном полях.
24. Сила Лоренца. Движение заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях. Эффект Холла.

25. Движение заряженной частицы в слабонеоднородном магнитном поле. Адиабатический инвариант. Конус потерь.
26. Деформации растяжения-сжатия. Нормальное напряжение. Закон Гука. Модуль Юнга, коэффициент Пуассона.
27. Всестороннее сжатие (растяжение).
28. Сухое трение. Законы Амонтона и Кулона.
29. Вязкое трение, формула Ньютона. Формула Пуазёйля.
30. Сопrotивление движению тела в вязкой среде. Метод размерностей. Моделирование.
31. Закон всемирного тяготения. Эквивалентность инертной и гравитационной масс. Первая и вторая космические скорости.
32. Второй закон Ньютона в поступательно движущейся неинерциальной системе отсчета. Переносная сила инерции. Эквивалентность сил инерции и сил тяготения.
33. Теорема Кориолиса. Центробежная и кориолисова силы инерции.
34. Земля как неинерциальная система отсчета.
35. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца (с выводом).
36. Относительность одновременности двух событий.
37. Сокращение длины движущегося тела. Парадокс шеста и сарая.
38. Релятивистское замедление времени.
39. Релятивистский закон сложения скоростей.
40. Интервал.
41. Релятивистский импульс.
42. Релятивистское уравнение движения. Пример – ускорение заряженной частицы электрическим полем.
43. Взаимосвязь массы и энергии.
44. Фотон – частица с нулевой массой покоя.
45. Теорема об изменении импульса системы материальных точек. Закон сохранения импульса.
46. Теорема о движении центра масс.
47. Уравнение Мещерского (с примерами).
48. Задача Циолковского.
49. Теорема об изменении момента импульса системы материальных точек. Закон сохранения момента импульса.
50. Момент импульса и уравнение моментов в центромассовой системе отсчета. Пересчет момента импульса из центромассовой в лабораторную систему отсчета.
51. Теорема об изменении кинетической энергии системы материальных точек.
52. Теорема Кенига.
53. Потенциальная энергия системы материальных точек.
54. Теорема об изменении механической энергии с.м.т. Условия сохранения механической энергии.
55. Абсолютно неупругое соударение двух частиц.
56. Абсолютно упругое лобовое соударение двух частиц.
57. Абсолютно упругое нелобовое соударение двух гладких шаров (частиц). Диаграммы импульсов.
58. Уравнение Бернулли (с примерами).
59. Уравнения динамики твердого тела. Условия равновесия твердого тела.
60. Уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции, примеры его вычисления.
61. Теорема Гюйгенса-Штейнера.
62. Физический маятник.
63. Кинетическая энергия и работа при вращении твердого тела вокруг неподвижной оси.
64. Кинематика плоского движения твердого тела.



65. Уравнения динамики плоского движения твердого тела. Пример - маятник Максвелла.
66. Качение симметричного тела по горизонтальной плоскости (с примерами).
67. Трение качения.
68. Тензор инерции. Главные оси и главные моменты инерции.
69. Выражение для момента инерции относительно произвольной оси через компоненты тензора инерции. Эллипсоид инерции.
70. Свободные оси.
71. Приближенная теория гироскопа. Основные свойства гироскопа.
72. Прецессия гироскопа. Влияние трения.
73. Гироскопические силы.
74. Гироскоп с двумя степенями свободы на вращающемся основании.

## **Раздел 2. Молекулярная физика**

1. Распределение молекул по объёму сосуда в отсутствие внешних силовых полей. Флуктуации числа молекул.
2. Биномиальное распределение для числа молекул. Предельные переходы к распределениям Гаусса и Пуассона.
3. Распределение Максвелла по вектору скорости.
4. Распределение Максвелла по модулю скорости. Наиболее вероятная, средняя и средняя квадратичная скорости.
5. Барометрическая формула. Распределение Больцмана, распределение Максвелла-Больцмана. Опыт Перрена.
6. Молекулярно-кинетический расчет давления идеального газа. Основное уравнение кинетической теории газов. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева).
7. Классическая теория теплоёмкости газов и её недостатки.
8. Средняя длина свободного пробега молекул газа (вывод формулы, оценки).
9. Диффузия в газах. Закон Фика, расчёт коэффициента диффузии.
10. Внутреннее трение в газах. Формула Ньютона, расчет вязкости.
11. Теплопроводность газов. Закон Фурье, расчет коэффициента теплопроводности.
12. Броуновское движение. Формула Эйнштейна. Измерение числа Авогадро.
13. Учёт конечности размера и притяжения молекул. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса и реального газа.
14. Изотермы реального газа. Правило рычага. Фазовые превращения в изохорическом процессе. Критическое состояние, критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.
15. Общий и нулевой принципы термодинамики. Измерение температуры. Классификация процессов.
16. Первый принцип термодинамики. Внутренняя энергия идеального газа. Примеры применения: соотношение Майера, уравнение адиабаты для идеального газа.
17. Вывод выражения для внутренней энергии газа Ван-дер-Ваальса. Расширение газа (идеального, Ван-дер-Ваальса) в пустоту (процесс Джоуля-Гей-Люссака).
18. Процесс Джоуля-Томсона. Энтальпия.
19. Второй принцип термодинамики. Формулировки Томсона и Клаузиуса, их эквивалентность.
20. Цикл Карно и его КПД. Первая теорема Карно.
21. Вторая теорема Карно. КПД произвольного обратимого цикла.
22. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса (с примерами применения).
23. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа.
24. Связь между термическим и калорическим уравнениями состояния (примеры - идеальный газ, газ Ван-дер-Ваальса).
25. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии (с примерами).

### Раздел 3. Электричество и магнетизм

1. Электростатическое поле в вакууме. Закон Кулона. Принцип суперпозиции для вектора напряженности электрического поля. Поле системы точечных зарядов.
2. Поток вектора напряженности электрического поля. Теорема Гаусса для вектора напряженности.
3. Циркуляция вектора напряженности электрического поля. Потенциал.
4. Эквипотенциальные поверхности. Связь напряженности поля и потенциала.
5. Проводники в электростатическом поле.
6. Теорема о единственности решения задач электростатики (заданы расположения проводников и их заряды).
7. Теорема о единственности решения задач электростатики (заданы расположения проводников и их потенциалы).
8. Связь между плотностью заряда на поверхности проводника и полем вблизи него.
9. Решение электростатических задач методом электрических изображений.
10. Конденсаторы.
11. Энергия системы точечных зарядов. Энергия заряженного проводника и конденсатора. Плотность энергии электрического поля.
12. Дипольный момент молекул. Вектор поляризации.
13. Теорема Гаусса для вектора поляризации.
14. Вектор электрической индукции. Теорема Гаусса для вектора электрической индукции.
15. Линейные среды. Связь между векторами поляризации и напряженности, напряженности и индукции электрического поля.
16. Механизмы поляризации диэлектриков с неполярными и полярными молекулами.
17. Граничные условия для векторов напряженности и индукции электрического поля.
18. Энергия электрического поля при наличии диэлектриков. Плотность энергии электрического поля.
19. Поверхностная плотность силы, действующей на границе металла.
20. Объемная плотность силы, действующей на диэлектрик в электрических полях.
21. Закон Био-Савара-Лапласа.
22. Поле прямого провода.
23. Поле на оси соленоида.
24. Сила Лоренца и сила Ампера.
25. Момент сил, действующих на рамку с током в магнитном поле.
26. Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля.
27. Теорема о циркуляции вектора намагничения.
28. Напряженность магнитного поля. Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля.
29. Линейные среды. Связь векторов индукции, напряженности и намагничения.
30. Граничные условия для векторов индукции и напряженности магнитного поля.
31. Механизм намагничения диамагнетиков.
32. Механизм намагничения парамагнетиков.
33. Ферромагнетики.
34. Явление электромагнитной индукции в движущихся проводниках. Примеры.
35. Энергетика динамомашин.
36. Энергетика электромотора.
37. Явление электромагнитной индукции в неподвижных проводниках. Вихревое электрическое поле.
38. Индукционный ускоритель электронов (бетатрон).
39. Баллистические измерения магнитной индукции.
40. Измерение циркуляции вектора индукции магнитного поля при помощи пояса Роговского.

41. Индуктивность (коэффициент самоиндукции). Примеры вычисления.
42. Процессы установления в контуре с индуктивностью.
43. Магнитная энергия.
44. Коэффициент взаимной индукции. Примеры вычисления.
45. Магнитная энергия двух связанных контуров.
46. Работа при перемещении витка в магнитном поле.
47. Свободные контуры.
48. Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля с учетом тока смещения.
49. Система уравнений Максвелла в вакууме.
50. Система уравнений Максвелла в веществе.
51. Граничные условия для векторов напряженности и индукции электрического поля, индукции и напряженности магнитного поля.
52. Волновое уравнение. Электромагнитные волны.
53. Энергия и импульс электромагнитного поля.
54. Метод векторных диаграмм для сложения гармонических колебаний. Примеры.
55. Метод комплексных амплитуд для сложения гармонических колебаний. Примеры.
56. Сложение гармонических векторных колебаний.
57. Свойства идеальных элементов в цепях квазистационарных токов.
58. Работа и мощность в цепях переменного тока.
59. Механизм проводимости металлов. Классическая модель.
60. Механизм проводимости металлов. Представление об энергетических зонах.
61. Эффективная масса электрона в кристалле. Дырки.

#### **Раздел 4. Колебания и волны, оптика**

1. Свободные колебания гармонического осциллятора. Фазовый портрет. Превращения энергии при колебаниях.
2. Затухающие свободные колебания линейного осциллятора. Характеристики затухания. Фазовый портрет.
3. Аперриодический и критический режимы свободных колебаний линейного осциллятора. Фазовые портреты.
4. Линейный осциллятор с «отрицательным» трением (с примером). Фазовые портреты.
5. Вынужденные колебания линейного осциллятора. Явление резонанса, резонансные кривые (пример - колебательный контур).
6. Фазовые соотношения при вынужденных колебаниях линейного осциллятора.
7. Сложение двух скалярных гармонических колебаний с близкими частотами. Биения.
8. Сложение двух взаимно-перпендикулярных гармонических колебаний с близкими частотами.
9. Процесс установления колебаний: резонансный случай.
10. Процесс установления колебаний: нерезонансный случай.
11. Решение уравнения гармонического осциллятора при произвольной вынуждающей силе (с примером).
12. Разложение периодических функций в ряд Фурье (с примером).
13. Представление непериодических функций интегралом Фурье (с примером). Соотношение неопределенностей.
14. Отклик линейного осциллятора на произвольное внешнее воздействие. Колебательный контур как спектральный прибор. Опыт Манделъштама.
15. Амплитудно-модулированный сигнал и его спектр. Колебательный контур как селективный приемник радиосигналов.
16. Свободные колебания в системе двух связанных контуров. Нормальные колебания.
17. Вынужденные колебания в системе двух связанных контуров. Резонансная кривая. Динамическое демпфирование.
18. Энергетика параметрических колебательных систем. Параметрический резонанс.

19. Особенности свободных и вынужденных колебаний нелинейного осциллятора.
20. Автоколебания. Пример – генератор Ван-дер-Поля. Предельный цикл.
21. Волновое уравнение (одномерное и трехмерное). Бегущие недеформирующиеся волны: плоские, сферические, цилиндрические.
22. Дисперсия. Распространение сигналов (волновых пакетов) на примере тригармонической волны. Фазовая и групповая скорости. Условие пренебрежения дисперсионным искажением сигнала.
23. Явление интерференции. Интерференция двух встречных плоских волн. Стоячая волна.
24. Интерференция двух сферических волн.
25. Особенности интерференции в оптике. Классические опыты с раздвоением источника.
26. Интерференция света в тонких пленках. Просветление оптики. Полосы равного наклона и равной толщины.
27. Вывод волнового уравнения из уравнений Максвелла. Плоские электромагнитные волны. Импеданс.
28. Синусоидальные электромагнитные волны (бегущая и стоячая). Поляризация.
29. Энергетические соотношения для электромагнитных волн: теорема Пойнтинга с примерами (бегущая и стоячая волна).
30. Излучение электромагнитных волн элементарным вибратором. Диаграмма направленности, сопротивление излучения.
31. Решетки из вибраторов. Условия острой направленности излучения.
32. Нормальное падение электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектрических сред.
33. Наклонное падение электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Закон Снелля. Формулы Френеля.
34. Явления Брюстера и полного (внутреннего) отражения.
35. Дисперсионные свойства нормальных волн в одноосном кристалле. Поверхности нормалей.
36. Поляризационная структура нормальных волн в одноосном кристалле. Лучи, лучевые поверхности.
37. Преломление на границе одноосного кристалла. Построение Гюйгенса.
38. Фазовые пластинки.
39. Интерференция поляризованных лучей. Хроматическая поляризация.
40. Принцип Гюйгенса-Френеля как метод решения дифракционных задач.
41. Дифракция на круглом отверстии. Зоны Френеля.
42. Зонные пластинки (амплитудная и фазовая).
43. Дифракция на узкой щели. Спираль Корню.
44. Дифракция на прямоугольном отверстии.
45. Дифракция на крае экрана.
46. Дифракция на бесконечно длинной щели произвольной ширины. Предельные случаи дифракции Френеля.
47. Дифракция Фраунгофера на бесконечно длинной щели.
48. Дифракция Фраунгофера на прямоугольном отверстии.
49. Амплитудная дифракционная решетка.
50. Дифракционная решетка как спектральный прибор.

## **Раздел 5. Атомная и ядерная физика**

1. Опыты Штерна-Герлаха. Гипотеза Гаудсмита-Уленбека.
2. Тепловое излучение. Законы теплового излучения. Спектр равновесного излучения.
3. Квантовые переходы. Коэффициенты Эйнштейна и формула Планка. Корпускулярная и волновая теория света.
4. Фотоэффект. Законы фотоэффекта.

5. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Неравенства Белла.
6. Измерения в классической физике и квантовой механике. Сущность измерительного процесса.
7. Пси-функция, ее амплитуда и фаза. Физический смысл пси-функции.
8. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля. Волна де Бройля.
9. Условие измеримости динамических переменных. Принцип дополнительности.
10. Типы состояний квантовой системы и результаты измерений динамических переменных.
11. Квантовая система и прибор. Роль прибора в процессе измерения.
12. Редукция волновой функции в процессе измерений. Декогеренция.
13. Принцип неопределенности. Соотношения неопределенностей.
14. Теорема о квантовом клонировании. Квантовая телепортация.
15. Квантовая информация, квантовая криптография, квантовый компьютер.
16. Фотон и его свойства.
17. Вычисление средних значений динамических переменных. Оператор произвольной функции динамических переменных.
18. Физические величины и динамические переменные. Представление динамических переменных посредством операторов. Постулаты квантовой механики.
19. Чистые и смешанные состояния квантовой системы. Запутанные состояния квантовой системы.
20. Квантовая суперпозиция. Принцип суперпозиции.
21. Операторы координаты, импульса, момента импульса, энергии.
22. Серии спектральных линий, формула Бальмера. Спектральные термы. Модель атома водорода Бора-Зоммерфельда.
23. Электроны в кристаллах. Зонная структура энергии электронов в твердых телах. Электроны проводимости и дырки. Дисперсия энергии электронов в твердых телах.
24. Потенциальные ямы. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект.
25. Квантовый осциллятор.
26. Момент импульса. Квантование момента импульса. Сложение моментов.
27. Уравнение Шредингера для водородоподобных атомов: решение уравнения в сферической системе координат. Собственные значения и собственные функции. Их физический смысл.
28. Энергетические уровни атома водорода. Спектр водородоподобных атомов. Спектры изотопов водорода и водородоподобных ионов.
29. Момент импульса электрона водородоподобного атома. Спин-орбитальное взаимодействие.
30. Магнитный момент атома.
31. Эффект Комптона.
32. Тонкая структура энергетических уровней и спектральных линий. Мультиплетность.
33. Результирующий (суммарный) механический и магнитный момент многоэлектронных атомов.
34. Терм атома. Спектры излучения и поглощения света. Правила отбора.
35. Эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.
36. Эффект Штарка.
37. Спектральные серии поглощения и излучения щелочных металлов. Экспериментальные данные и эмпирическая формула Ридберга. Энергетическая структура атомов щелочных металлов. Квантовый дефект. Тонкая структура спектров щелочных металлов.
38. Атом гелия. Энергия электронов в атоме гелия. Обобщенное уравнение Шредингера. Его решение.
39. Принцип Паули. Электронные оболочки. Периодическая система элементов Менделеева.

40. Обобщенная пси-функция электронов атома гелия. Обменная энергия.
41. Фундаментальные взаимодействия. Виртуальные частицы. Обменный характер взаимодействий.
42. Элементарные частицы. Их классы, свойства и описание. Квазичастицы.
43. Законы сохранения в физике элементарных частиц.
44. Масса атомных ядер и энергия связи нуклонов в ядре. Формула Вейцеккера.
45. Атомное ядро. Его основные характеристики.
46. Капельная и оболочечная модель атомных ядер.
47. Кварковая модель элементарных частиц. Особенности взаимодействия кварков, их описание.
48. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Распад атомных ядер и элементарных частиц.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины «Математический анализ» направлено на обучение студентов основам дифференциального и интегрального исчисления функций одного и многих переменных, включая теорию пределов, числовых и функциональных рядов.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Математический анализ» относится к дисциплинам базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Математический анализ» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения студенты должны:

- знать основные понятия теории пределов, дифференциального и интегрального исчисления, функции многих переменных, теории кратных интегралов, теории рядов;
- уметь строить графики функций, как элементарными приемами, так и с использованием методов высшей математики, вычислять пределы последовательностей и функций, вычислять производные и применять их к исследованию функций, вычислять как неопределенные, так и определенные интегралы и применять их к решению геометрических, механических и физических задач, исследовать ряды на сходимость;
- иметь представление об основных понятиях теории множеств, о представлении функции в виде степенных рядов.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц 288 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		1	2
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>288</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Аудиторные занятия	136	68	68
Лекции	68	34	34
Практические занятия (ПЗ)	68	34	34
Самостоятельная работа	80	40	40
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	72 экзамен	36 экзамен	36 экзамен

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ	ЛР
1	Предмет математики. Введение в анализ.	*	*	
2	Пределы последовательности и функции.	*	*	
3	Непрерывность функции. Точки разрыва.	*	*	
4	Дифференциальное исчисление функций одной переменной.	*	*	



5	Интегральное исчисление функций одной переменной	*	*	
6	Функции многих переменных.	*	*	
7	Кратные интегралы.	*	*	
8	Криволинейные и поверхностные интегралы.	*	*	
9	Ряды. Числовые, функциональные и степенные ряды.	*	*	
10	Несобственные интегралы, интегралы, зависящие от параметра.	*	*	
11	Ряд и интеграл Фурье.			
12	Элементы теории обобщенных функций.			

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### 1. Предмет математики. Введение в анализ

Предмет математики. Связь с другими науками. Историческая справка.

Понятие множества. Операции с множествами. Общее определение функции. Область определения и область изменения. Функция действительного переменного. Способы задания функции. Определение графика функции. Графики элементарных функций (прямая, парабола, кубическая парабола, окружность, гипербола, показательная и логарифмическая функции, тригонометрические функции). Обратные тригонометрические функции и их свойства. Преобразование графиков. Построение графиков с помощью цепочки преобразований. Действия с графиками. График сложной функции. График функции, заданной параметрически. Полярные координаты.

### 2. Пределы последовательности и функции

Понятие последовательности действительных чисел. Предел последовательности. Геометрический смысл предела последовательности. Теорема о единственности предела. Ограниченность сходящейся последовательности. Предельные переходы в равенствах и неравенствах. Монотонные последовательности. Подпоследовательность, частичные пределы, верхний и нижний пределы последовательности действительных чисел. Лемма о вложенных промежутках. Теорема Больцано-Вейерштрасса. Критерий Коши сходимости последовательности.

Предел функции действительного переменного по Коши и по Гейне. Геометрический смысл предела функции действительного переменного. Арифметические операции над функциями, имеющими предел. Односторонние пределы. Классификация бесконечно малых и бесконечно больших величин. Эквивалентные бесконечно малые и бесконечно большие величины. Первый и второй замечательные пределы.

### 3. Непрерывность функции

Непрерывность функции действительного переменного. Арифметические действия с непрерывными функциями. Непрерывность сложной функции. Односторонняя непрерывность. Теорема о существовании и непрерывности обратной функции. Сохранение знака непрерывной функции. Равномерная непрерывность. Теорема Кантора. Классификация точек разрыва.

### 4. Дифференциальное исчисление функций одной переменной.

Производные и односторонние производные, бесконечные производные. Геометрический и физический смысл производной. Правила дифференцирования и таблица производных. Дифференциал и его геометрический смысл. Производная сложной функции. Производные и дифференциалы высших порядков. Формула

Лейбница. Инвариантность формы первого и неинвариантность формы высших дифференциалов. Параметрически заданные функции и их дифференцирование. Основные теоремы дифференциального исчисления Ролля, Лагранжа, Коши. Правило Лопиталя раскрытия неопределенностей. Формула Тейлора и ее связь с задачей приближенного вычисления значений функции. Признаки монотонности. Экстремумы и правила их нахождения. Выпуклость, вогнутость и точки перегиба. Асимптоты. Применение дифференциального исчисления к исследованию функций и построению графиков.

## **5. Интегральное исчисление функций одной переменной.**

Понятие первообразной и неопределенного интеграла. Свойства неопределенного интеграла. Таблица неопределенных интегралов. Техника интегрирования (непосредственное интегрирование с помощью таблиц, метод разложения, замена переменной, интегрирование по частям, приведение квадратного трехчлена к каноническому виду). Примеры. Разложение многочлена с действительными коэффициентами на множители. Представление правильной рациональной дроби в виде суммы простейших рациональных дробей. Интегрирование простейших дробей. Интегрирование рациональных функций. Сведение интегралов от иррациональных и тригонометрических функций к интегрированию рациональных функций.

Определенный интеграл. Условие существования определенного интеграла. Классы интегрируемых функций. Свойства определенного интеграла. Интеграл как функция верхнего предела. Формула Ньютона-Лейбница. Теорема о среднем. Приложение определенного интеграла к вычислению площадей плоских фигур, площадей поверхности тел вращения и некоторых объемов. Параметрически заданные кривые. Длина дуги кривой.

## **6. Функции многих переменных**

Основные понятия на плоскости (расстояние между точками, окрестность точки, внутренняя точка, изолированная точка, граничная точка, открытое множество, связное и несвязное множества, область, замкнутая область, ограниченное множество). Аналогия с пространством. Предел последовательности векторов. Теорема о покоординатной сходимости. Пределы и непрерывность. Двойные и повторные пределы. Примеры. Непрерывность по совокупности переменных и по отдельной переменной. Дифференциальное исчисление функций многих переменных. Частные производные. Дифференцируемость функции многих переменных. Необходимые условия дифференцируемости. Достаточные условия дифференцируемости функции многих переменных. Теоремы о взаимосвязи между дифференцируемостью, непрерывностью и существованием частных производных функции многих переменных. Производная сложной функции. Дифференциал функции многих переменных. Производная по направлению. Градиент. Связь производной по направлению с градиентом. Условие возрастания (убывания) функции в точке. Производные и дифференциалы высших порядков. Равенство смешанных производных. Исследование функций многих переменных, условие постоянства, условие монотонности в указанном направлении. Формула Тейлора. Экстремум. Неявные функции. Теоремы о существовании неявной функции. Функциональные определители. Существование системы неявных функций. Взаимнооднозначное отображение двух множеств векторного пространства. Условный экстремум. Правило множителей Лагранжа. Примеры.

## **7. Кратные интегралы.**

Кратные интегралы. Площадь многоугольной фигуры. Мера Жордана. Измеримые множества. Необходимое и достаточное условие измеримости множества на плоскости.

Свойства меры Жордана. Определение двойного интеграла. Суммы Дарбу и их свойства. Критерий существования двойного интеграла. Классы интегрируемых функций. Свойства двойного интеграла. Приведение двойного интеграла к повторному. Криволинейные координаты на плоскости. Полярные и эллиптические координаты. Замена переменных в двойном интеграле. Тройной интеграл. Сведение тройного интеграла к повторному. Замена переменных в тройном интеграле. Сферические и цилиндрические координаты.

## **8. Криволинейные и поверхностные интегралы**

Определение криволинейных интегралов. Основные формулы вычисления криволинейных интегралов. Определения поверхностных интегралов первого и второго рода. Вычисление поверхностных интегралов. Математические и физические приложения криволинейных и поверхностных интегралов.

## **9. Ряды. Числовые, функциональные и степенные ряды**

Числовые ряды. Сходящиеся и расходящиеся ряды. Критерий Коши сходимости числового ряда. Необходимое условие сходимости. Достаточные признаки сходимости: мажорантный и предельный признаки сравнения, Даламбера, Коши, Дирихле, Абеля. Абсолютная и условная сходимость. Умножение рядов. Перестановка членов ряда. Функциональные последовательности и ряды функций. Поточечная и равномерная сходимость. Признаки равномерной сходимости (критерий Коши, мажорантный признак для последовательности, мажорантный признак Вейерштрасса для ряда). Равномерная сходимость и непрерывность, равномерная сходимость и интегрирование, равномерная сходимость и дифференцирование. Степенной ряд. Радиус сходимости. Дифференцирование и интегрирование степенного ряда. Ряд Тейлора.

## **10. Несобственные интегралы, интегралы, зависящие от параметра**

Определение несобственных интегралов первого типа. Определение несобственных интегралов второго типа. Эталонные интегралы. Свойства сходящихся интегралов. Критерий Коши сходимости несобственных интегралов. Достаточные признаки сходимости несобственных интегралов. Мажорантный признак сравнения. Предельный признак сравнения. Абсолютная и условная сходимость несобственных интегралов. Признак Абеля. Признак Дирихле. Расширение методов интегрирования на несобственные интегралы. Замена переменных. Интегрирование по частям. Главное значение несобственного интеграла. Интегралы, зависящие от параметра. Непрерывность по параметру. Дифференцирование и интегрирование по параметру. Несобственные интегралы от параметра.

## **11. Ряд и интеграл Фурье**

Постановка задачи. Пространство со скалярным произведением. Нормированное пространство. Сходимость в среднем. Гильбертово пространство. Скалярное произведение и норма функции. Поточечная, равномерная сходимость и сходимость в среднем последовательностей и рядов. Ортогональные и ортонормированные элементы пространства со скалярным произведением. Обобщенный ряд Фурье. Свойства остатка ряда Фурье. Неравенство Бесселя. Условие сходимости ряда Фурье. Равенство Парсевала. Замкнутые и полные ортонормальные системы элементов в пространстве со скалярным произведением. Теоремы о связи между замкнутой и полной системой. Ряд Фурье по ортогональной и ортонормированной системам функций. Неравенство Бесселя и равенство Парсевала для этих рядов. Тригонометрический ряд Фурье. Разложение четной и нечетной функции в тригонометрический ряд Фурье. Комплексная форма ряда Фурье. Точечная и равномерная сходимость тригонометрического ряда

Фурье. Полнота тригонометрической системы функций. Двойные и тройные ряды Фурье.

Интеграл Фурье как предельный случай ряда Фурье. Достаточные признаки сходимости интеграла Фурье. Представление функции интегралом Фурье. Представление четной и нечетной функции интегралом Фурье. Комплексное прямое и обратное преобразования Фурье. Синус и косинус преобразования Фурье.

## **12. Элементы теории обобщенных функций**

Класс основных (пробных) функций. Функциональное определение обобщенной функции. Регулярные и сингулярные обобщенные функции. Дельта функция. Действия с обобщенными функциями. Секвенциальный подход к определению обобщенной функции.

### 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа.- Части 1,2.
2. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления.- т.т. 1,2,3.
3. Будак Б.М., Фомин С.В. Кратные интегралы и ряды.

б) дополнительная литература:

1. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа.- т.т. 1,2.
2. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. - т.т. 1,2.
3. Соболев И.И. Лекции по дополнительным главам математического анализа. - М.1968.

### 8. Вопросы для контроля

1. Подмножество множества.
2. Собственное подмножество.
3. Равенство множеств.
4. Объединение множеств.
5. Пересечение множеств.
6. Разность множеств.
7. Дополнение множества.
8. Верхние и нижние границы числовых множеств.
9. Точная верхняя граница.
10. Точная нижняя граница.
11. Действительно значная функция.
12. Функция действительного переменного.
13. Точная верхняя граница действительно значной функции.
14. Точная нижняя граница действительно значной функции.
15. Расширенная система действительных чисел.
16. Определение комплексного числа.
17. Алгебраическая, тригонометрическая формы комплексного числа.
18. Показательные формы комплексного числа.
19. Определение последовательности.
20. Предел числовой последовательности.
21. Бесконечно большие последовательности.
22. Бесконечно малые последовательности.

23. Монотонные последовательности.
24. Определение подпоследовательности.
25. Частичный предел.
26. Верхний и нижний пределы.
27. Критерий Коши сходимости числовой последовательности.
28. Предел функции действительного переменного по Коши.
29. Предел функции действительного переменного по Гейне.
30. Односторонние пределы.
31. Понятие бесконечно малой и бесконечно большой величины.
32. Бесконечно малая более высокого порядка.
33. Бесконечно малые величины одного порядка.
34. Эквивалентные бесконечно малые.
35. Главная часть бесконечно малой.
36. Порядок бесконечно малой (бесконечно большой величины).
37. Теорема об умножении и делении комплексных чисел в тригонометрической форме. Формула Муавра.
38. Извлечение корня из комплексного числа. Геометрическая интерпретация корня.
39. Теорема о единственности предела.
40. Теорема об ограниченности сходящейся последовательности.
41. Арифметические действия над сходящимися числовыми последовательностями.
42. Предельный переход в неравенствах.
43. Теорема о пределе монотонной последовательности.
44. Доказать, что  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a^n}{n!} = 0$ .
45. Доказать, что  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^\alpha}{a^n} = 0 \quad (a > 1)$ .
46. Доказать, что  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt[n]{n!}} = 0$ .
47. Доказать, что  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = 1$ .
48. Доказать, что  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a} = 1 \quad (a > 0)$ .
49. Лемма о вложенных промежутках.
50. Теорема Больцано-Вейерштрасса.
51. Теорема об эквивалентности двух определений предела функции.
52. Теорема об односторонних пределах.
53. Критерий Коши существования предела функции.
54. Теорема о представлении бесконечно малой величины.
55. Производная, односторонние производные, бесконечная производная.
56. Односторонние касательные, касательная. Геометрический смысл производных.
57. Определение дифференцируемой функции и дифференциала.
58. Непрерывность дифференцируемой функции.
59. Необходимое и достаточное условие дифференцируемой функции.
60. Свойства дифференциала функции одного переменного.
61. Свойства дифференцируемых функций: теорема Ролля, теорема Коши, теорема Лагранжа, формула конечных приращений Лагранжа, формула Коши.
62. Правило Лопиталя.
63. Производные и дифференциалы высших порядков. Нарушение инвариантности формулы высших дифференциалов.
64. Правила отыскания высших производных.

65. Правила дифференцирования в дифференциалах (для первого дифференциала и для дифференциалов высших порядков).
66. Классы непрерывно дифференцируемых функций.
67. Теорема Тейлора. Формула Тейлора с остаточным членом в форме Лагранжа или Пеано. Формула Лагранжа как частный случай формулы Тейлора.
68. Разложения основных функций по формуле Тейлора.
69. Условие монотонности функции.
70. Понятие стационарной и критической точки. Определение максимума и минимума функции.
71. Необходимое условие экстремума.
72. Достаточные условия экстремума.
73. Выпуклость и вогнутость кривой. Определение выпуклой и вогнутой функции. Геометрический смысл выпуклости функции. Вторая запись условия выпуклости функции.
74. Необходимые и достаточные условия выпуклости (вогнутости) функции.
75. Определение точки перегиба. Необходимое и достаточное условия для точки перегиба.
76. Понятие первообразной функции и неопределенного интеграла. Теорема о первообразных.
77. Свойства неопределенного интеграла.
78. Замена переменных в неопределенном интеграле.
79. Интегрирование по частям.
80. Разложение многочлена на простейшие множители.
81. Разложение правильной рациональной дроби на простейшие.
82. Интегрирование простейших дробей. Вывод рекуррентной формулы.
83. Определение верхнего и нижнего интегралов Римана. Интеграл Римана.
84. Теорема о существовании верхнего и нижнего интегралов Римана.
85. Определение интеграла Римана (разбиение сегмента, нижняя и верхняя суммы Дарбу, верхний и нижний интегралы, определенный интеграл).
86. Измельчение разбиения. Общее измельчение двух разбиений. Теорема об измельчении разбиения. Следствие.
87. Критерий существования определенного интеграла.
88. Классы интегрируемых функций.
89. Определенный интеграл как предел интегральных сумм.
90. Понятие колебания функции. Формулы для его вычисления. Лемма о колебаниях функции.
91. Свойства интеграла Римана, выражаемые равенствами.
92. Свойства интеграла Римана, выражаемые неравенствами.
93. Интеграл как функция верхнего предела. Теорема о его непрерывности и дифференцируемости.
94. Основная теорема интегрального исчисления.
95. Теорема о среднем для интегрального исчисления.
96. Определение абсолютной и условной сходимости несобственного интеграла. Признак Абеля. Признак Дирихле.
97. Расширение методов интегрирования на несобственные интегралы.
98. Главные значения несобственных интегралов.
99. Двойные и повторные пределы.
100. Непрерывность функции многих переменных по совокупности и по отдельной переменной.
101. Определение дифференцируемости функции многих переменных. Понятие градиента функции многих переменных.
102. Необходимое условие дифференцируемости.

103. Достаточное условие дифференцируемости функции многих переменных.
104. Теорема о производной сложной функции.
105. Определение и вычисление первого дифференциала функции многих переменных.
106. Теорема об инвариантности формы первого дифференциала.
107. Определение производной по направлению. Теорема о связи производной по направлению с градиентом.
108. Смысл градиента функции многих переменных.
109. Определение производных высших порядков.
110. Равенство смешанных производных.
111. Условие постоянства функции многих переменных.
112. Условие монотонности функции многих переменных.
113. Теорема Тейлора для функции многих переменных.
114. Определение экстремума функции многих.
115. Вывод необходимого условия экстремума функции многих переменных.
116. Достаточное условие экстремума функции многих переменных.
117. Теорема существования неявной функции.
118. Теорема о дифференцируемости неявной функции.
119. Определение функционального определителя.
120. Теорема об умножении якобианов.
121. Теорема о существовании системы неявных функций.
122. Взаимно однозначное отображение двух множеств векторного пространства.
123. Определение условного (относительного) экстремума. Два способа отыскания условного экстремума.
124. Площадь многоугольной фигуры. Мера Жордана. Измеримые множества.
125. Определение множества меры нуль.
126. Необходимое и достаточное условие измеримости множества на плоскости. Следствие (критерий измеримости области).
127. Измеримость области с кусочно-гладкой границей.
128. Определение двойного интеграла.
129. Определение сумм Дарбу. Их свойства.
130. Критерий Коши существования двойного интеграла.
131. Классы интегрируемых функций (для двойного интеграла).
132. Свойства двойного интеграла.
133. Теорема о приведении двойного интеграла к повторному в случае прямоугольной области.
134. Теорема о приведении двойного интеграла к повторному в случае криволинейной области.
135. Определение криволинейных координат на плоскости. Полярные и эллиптические координаты.
136. Теорема о замене переменных в двойном интеграле.
137. Объем многогранного тела. Понятие кубуруемой (измеримой по Жордану) области трехмерного пространства.
138. Определение тройного интеграла.
139. Сведение тройного интеграла к повторному.
140. Формула замены переменных в тройном интеграле.
141. Сферические и цилиндрические координаты.
142. Определение числового ряда. Частичная сумма, остаток, отрезок числового ряда. Понятие сходимости и расходимости числового ряда.
143. Критерий Коши сходимости числового ряда.
144. Необходимое условие сходимости числового ряда.
145. Действия с числовыми рядами.
146. Мажорантный признак сравнения.

147. Предельный признак сравнения.
148. Интегральный признак.
149. Гармонический ряд с любым показателем.
150. Признак Коши.
151. Признак Даламбера.
152. Тождество Абеля. Признак Дирихле.
153. Признак Абеля.
154. Признак Лейбница.
155. Абсолютная и условная сходимость числового ряда.
156. Определение поточечной и равномерной сходимости функциональной последовательности и функционального ряда.
157. Критерий Коши равномерной сходимости функциональной последовательности и функционального ряда.
158. Мажорантный признак равномерной сходимости функциональной последовательности.
159. Признак Вейерштрасса равномерной сходимости функционального ряда.
160. Равномерная сходимость и непрерывность.
161. Равномерная сходимость и интегрирование.
162. Равномерная сходимость и дифференцирование.
163. Степенные ряды. Радиус сходимости.
164. Теорема о почленном дифференцировании степенного ряда.
165. Определение ряда Тейлора.
166. Разложения элементарных функций в степенной ряд.
167. Дифференцирование интеграла, зависящего от параметра.
168. Ряд Фурье от периодической функции.
169. Ряды Фурье от четной и нечетной функции.
170. Представление функции интегралом Фурье.
171. Определение обобщенной функции.
172. Определение Дельта функции.
173. Дифференцирование обобщенных функций.



ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины направлено на изучение разделов аналитической геометрии, необходимых для понимания других разделов математики и физики.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Аналитическая геометрия» относится к дисциплинам базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Аналитическая геометрия» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения студенты должны:

- знать аппарат векторной алгебры, уравнения прямой и плоскости, уравнения и классификацию кривых и поверхностей 2-го порядка;
- уметь решать задачи из указанных разделов курса;
- иметь представление о приложениях разделов курса к решению практических задач.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>1</b>
Аудиторные занятия	68	1
Лекции	34	1
Практические занятия (ПЗ)	34	1
Самостоятельная работа	34	1
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	1

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Векторная алгебра.	*	*	
2	Прямая и плоскость.	*	*	
3	Кривые и поверхности 2-го порядка.	*	*	

#### 5.2. Содержание разделов дисциплины

##### **Раздел 1. Векторная алгебра.**

Понятие вектора. Линейные операции над векторами. Линейная зависимость системы векторов. Геометрический смысл линейной зависимости. Базисы на плоскости и в пространстве, разложение вектора по базису. Проекция вектора на ось. Ортонормированные базисы, их особенность. Направляющие косинусы вектора.

Скалярное, векторное, смешанное и двойное векторное произведения, их свойства, выражение через координаты сомножителей. Условие ортогональности, коллинеарности, компланарности векторов. Система координат, координаты точки, преобразование системы координат.

## **Раздел 2. Прямая и плоскость.**

Способы задания линий на плоскости, линий и поверхностей в пространстве. Алгебраические линии и поверхности. Прямая на плоскости. Различные формы уравнения прямой: общее, параметрическое, каноническое, с угловым коэффициентом, в отрезках, нормальное. Пучок прямых. Плоскость в пространстве. Различные формы уравнения плоскости: общее, в отрезках, нормальное. Пучок и связка плоскостей. Прямая в пространстве. Различные формы уравнения прямой: общее, параметрическое, каноническое. Переход от одного задания к другому. Взаимное расположение двух плоскостей, прямой и плоскости, двух прямых в пространстве. Основные задачи на тему «Прямая и плоскость»: расстояние от точки до плоскости и прямой, расстояние между прямыми, углы между прямыми и плоскостями, условие пересечения двух прямых и т.д.

## **Раздел 3. Кривые и поверхности 2-го порядка.**

Эллипс, гипербола, парабола, Определение, вывод канонического уравнения каждой из этих кривых, их свойства. Эксцентриситет и директрисы эллипса, гиперболы, параболы. Полярная система координат. Полярное уравнение эллипса, гиперболы, параболы. Общее уравнение кривой второго порядка. Приведение общего уравнения к каноническому виду с помощью поворота осей и переноса начала координат. Классификация кривых второго порядка. Поверхности второго порядка: эллипсоид, гиперболоиды, параболоиды, конусы и цилиндры, их канонические уравнения, свойства. Приведение уравнения поверхности второго порядка к каноническому виду.

### 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия. – М.: Наука, 1988.
2. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. - М.: Высшая школа, 1998.
3. Цубербиллер О.Н. Задачи и упражнения по аналитической геометрии. – М.: Наука, 1970.

б) дополнительная литература:

1. Рублев А.Н. Курс линейной алгебры и аналитической геометрии. – М.: Наука, 1972.
2. Беклемишева Л.А., Петрович А.Ю., Чубаров И.А. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре. – М.: Наука, 1987.

### 8. Вопросы для контроля

1. Понятие вектора. Линейные операции над векторами.
2. Линейная зависимость системы векторов. Геометрический смысл линейной зависимости. Базисы на плоскости и в пространстве, разложение вектора по базису.
3. Проекция вектора на ось. Скалярное произведение, определение и свойства.
4. Ориентация тройки векторов. Векторное произведение, определение и свойства.
5. Смешанное произведение, его геометрический смысл, критерий компланарности 3-х векторов.

6. Двойное векторное произведение, свойства.
7. Базис и координаты вектора. Система координат и координаты точки. Переход к другому базису.
8. Способы задания линий на плоскости, линий и поверхностей в пространстве. Алгебраические линии и поверхности.
9. Прямая в плоскости. Различные формы уравнения прямой: общее, параметрическое, каноническое, с угловым коэффициентом, в отрезках, нормальное. Пучок прямых.
10. Плоскость в пространстве. Различные формы уравнения плоскости: общее, в отрезках, нормальное. Пучок и связка плоскостей.
11. Прямая в пространстве. Различные формы уравнения прямой: общее, параметрическое, каноническое. Переход от одного задания к другому. Взаимное расположение двух плоскостей, прямой и плоскости, двух прямых в пространстве
12. Эллипс, гипербола, парабола, Определение, вывод канонического уравнения каждой из этих кривых, их свойства.
13. Эксцентриситет и директрисы эллипса, гиперболы, параболы. Уравнение эллипса, гиперболы, параболы при вершине, полярное уравнение.
14. Общее уравнение кривой второго порядка. Приведение общего уравнения к каноническому виду с помощью поворота осей и переноса начала координат. Классификация кривых второго порядка.
15. Поверхности второго порядка: эллипсоид, гиперболоиды, параболоиды, конусы и цилиндры, их канонические уравнения, свойства.
16. Приведение уравнения поверхности второго порядка к каноническому виду.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины направлено на изучение разделов линейной алгебры, необходимых для понимания других разделов математики и физики.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Линейная алгебра» относится к дисциплинам базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Линейная алгебра» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения студенты должны:

- знать операции над матрицами, вычисление определителей матриц, решение линейных систем, теорию линейных пространств и операторов, теорию квадратичных форм;
- уметь решать задачи из указанных разделов курса;
- иметь представление о приложениях разделов курса к решению практических задач.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы 108 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>108</b>	<b>2</b>
Аудиторные занятия	51	2
Лекции	34	2
Практические занятия (ПЗ)	17	2
Самостоятельная работа	21	2
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	2

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Матрицы и определители.	*	*	
2	Системы линейных уравнений.	*	*	
3	Линейные пространства.	*		
4	Линейные операторы.	*		
5	Квадратичные формы.	*	*	

#### 5.2. Содержание разделов дисциплины

##### **Раздел 1. Матрицы и определители.**

Прямоугольные матрицы. Сумма матриц, произведение матрицы на число, умножение матриц. Свойства этих операций. Перестановки, инверсии, транспозиции, подстановки.

Определитель квадратной матрицы, свойства определителя. Разложение определителя по элементам строки или столбца. Теорема Лапласа. Определитель произведения матриц. Обратная матрица, критерий обратимости, вычисление обратной матрицы.

## **Раздел 2. Системы линейных уравнений.**

Ранг матрицы. Теорема о базисном миноре. Ранг произведения матриц. Элементарные преобразования строк матрицы и их применение к вычислению ранга матрицы. Системы линейных уравнений. Основные определения: частное и общее решения, совместные и несовместные системы, эквивалентность систем. Теорема Крамера. Критерий совместности систем линейных уравнений (теорема Кронекера - Капелли). Метод Гаусса решения систем линейных уравнений. Линейные однородные системы (ЛОС). Свойства решений. Фундаментальная система решений (ФСР). Теорема о ФСР. Структура общего решения ЛОС. Неоднородные системы (ЛНС). Структура общего решения ЛНС.

## **Раздел 3. Линейные пространства.**

Аксиоматика линейного векторного пространства (ЛВП), примеры, свойства ЛВП. Линейная зависимость системы векторов в ЛВП. Базис и размерность ЛВП. Координаты вектора в данном базисе. Матрица перехода от одного базиса к другому, преобразование координат вектора при переходе к новому базису. Подпространство. Сумма и пересечение подпространств. Линейные оболочки и теоремы о размерности. Изоморфизм ЛВП. Евклидово пространство, определение и примеры. Неравенства Коши - Буняковского и треугольника. Общий вид скалярного произведения в конечномерном евклидовом пространстве. Ортогональность и ортонормированность системы векторов. Процесс ортогонализации системы векторов.

## **Раздел 4. Линейные операторы.**

Определение линейного оператора. Примеры. Образ и ядро линейного оператора. Матрица линейного оператора в данном базисе. Преобразование матрицы оператора при переходе от одного базиса к другому. Действия с линейными операторами. Обратный оператор, его свойства. Критерий обратимости. Подпространства, инвариантные относительно оператора. Собственные векторы и собственные значения линейного оператора, их свойства. Характеристическое уравнение. Унитарный и самосопряженный операторы. Свойства собственных значений и векторов самосопряженного оператора. Существование ортонормированного базиса из собственных векторов самосопряженного оператора, нахождение его.

## **Раздел 5. Квадратичные формы.**

Линейная, билинейная и квадратичная формы в ЛВП. Матрица квадратичной формы (КФ) и ее преобразование при переходе к новому базису. Ранг и индекс КФ. Теорема Лагранжа о приведении КФ к диагональному виду. Теорема Якоби. Закон инерции КФ. Критерий Сильвестра положительной определенности КФ.

### 6. Лабораторный практикум.

Не предусмотрен

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра. – М.: Наука, 1984.
2. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. – М.: Высшая школа, 1998.
3. Курош А.Г. Высшая алгебра. – М.: Наука, 1975.

4. Фаддеев Д.К., Соминский И.С. Сборник задач по высшей алгебре. – М.: Наука, 1977.

б) дополнительная литература:

1. Рублев А.Н. Курс линейной алгебры и аналитической геометрии. – М.: Наука, 1972.
2. Беклемишева Л.А., Петрович А.Ю., Чубаров И.А. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре. – М.: Наука, 1987.

#### 8. Вопросы для контроля.

1. Перестановки, инверсии, транспозиции, подстановки.
2. Прямоугольные матрицы. Сумма матриц, произведение матрицы на число, умножение матриц. Свойства этих операций.
3. Определитель квадратной матрицы, свойства определителя. Разложение определителя по элементам строки или столбца. Теорема Лапласа. Определитель произведения матриц.
4. Обратная матрица, критерий обратимости, вычисление обратной матрицы.
5. Ранг матрицы. Теорема о базисном миноре. Ранг произведения матриц. Элементарные преобразования строк матрицы и их применение к вычислению ранга матрицы.
6. Системы линейных уравнений. Основные определения: частное и общее решения, совместные и несовместные системы, эквивалентность систем.
7. Теорема Крамера. Критерий совместности систем линейных уравнений (теорема Кронекера - Капелли). Метод Гаусса решения систем линейных уравнений.
8. Линейные однородные системы (ЛОС). Свойства решений. Фундаментальная система решений (ФСР). Теорема о ФСР. Структура общего решения ЛОС.
9. Неоднородные системы (ЛНС). Структура общего решения ЛНС.
10. Аксиоматика линейного векторного пространства (ЛВП), примеры, свойства ЛВП.
11. Линейная зависимость системы векторов в ЛВП. Базис и размерность ЛВП. Координаты вектора в данном базисе. Матрица перехода от одного базиса к другому, преобразование координат вектора при переходе к новому базису.
12. Подпространство. Сумма и пересечение подпространств. Линейные оболочки и теоремы о размерности. Изоморфизм ЛВП.
13. Евклидово пространство, определение и примеры. Неравенства Коши - Буняковского и треугольника. Общий вид скалярного произведения в конечномерном евклидовом пространстве. Ортогональность и ортонормированность системы векторов. Процесс ортогонализации системы векторов.
14. Определение линейного оператора. Примеры. Образ и ядро линейного оператора.
15. Матрица линейного оператора в данном базисе. Преобразование матрицы оператора при переходе от одного базиса к другому.
16. Действия с линейными операторами. Обратный оператор, его свойства. Критерий обратимости.
17. Подпространства, инвариантные относительно оператора. Собственные векторы и собственные значения линейного оператора, их свойства. Характеристическое уравнение.
18. Унитарный и самосопряженный операторы. Свойства собственных значений и векторов самосопряженного оператора. Существование ортонормированного базиса из собственных векторов самосопряженного оператора, нахождение его.
19. Линейная, билинейная и квадратичная формы в ЛВП. Матрица квадратичной формы (КФ) и ее преобразование при переходе к новому базису. Ранг и индекс КФ.
20. Теорема Лагранжа о приведении КФ к диагональному виду. Теорема Якоби.
21. Закон инерции КФ. Критерий Сильвестра положительной определенности КФ.



ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины «Дифференциальные уравнения» направлено на ознакомление студентов с методами решения простейших дифференциальных уравнений, линейных дифференциальных уравнений высших порядков и линейных систем дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Дифференциальные уравнения» относится к дисциплинам базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Дифференциальные уравнения» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения студенты должны:

- знать основные методы интегрирования наиболее часто встречающихся в физических задачах типов обыкновенных дифференциальных уравнений;
- уметь интегрировать типовые дифференциальные уравнения первого порядка;
- находить общее решение линейного неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами;
- иметь представление о методах интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>180</b>	<b>2</b>
Аудиторные занятия	85	2
Лекции	51	2
Практические занятия (ПЗ)	34	2
Самостоятельная работа	59	2
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	2

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п /п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Дифференциальные уравнения первого порядка.	*	*	
2	Дифференциальные уравнения высших порядков.	*	*	
3	Системы обыкновенных дифференциальных уравнений.	*	*	

4	Интегральные уравнения.	*		
5	Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.	*	*	
6	Вариационное исчисление	*		

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Дифференциальные уравнения первого порядка.

Описание законов природы в форме дифференциальных уравнений. Основные определения. Геометрическая интерпретация дифференциального уравнения первого порядка, разрешенного относительно производной. Метод изоклин. Построение дифференциального уравнения по общему решению. Уравнения с разделяющимися переменными и приводимые к ним. Однородные уравнения. Уравнения, приводимые к однородным. Линейные дифференциальные уравнения первого порядка. Структура общего решения линейного неоднородного уравнения. Уравнения Бернулли и Риккати. Уравнение в полных дифференциалах. Понятие первого интеграла. Интегрирующий множитель. Приемы отыскания интегрирующих множителей. Теорема существования и единственности решения дифференциального уравнения первого порядка, разрешенного относительно производной. Принцип сжимающих отображений. Метод последовательных приближений. Продолжение решения. Непродолжаемое решение и его построение. Теорема о примыкании непродолжаемого решения к границе области. Степень гладкости решений дифференциального уравнения. Непрерывная зависимость решения дифференциального уравнения от начальных условий и от параметров. Простые особые точки, их классификация. Особые решения. Дифференциальные уравнения первого порядка, не разрешенные относительно производной. Уравнения, не содержащие явно независимой переменной, неизвестной функции. Уравнение с однородной функцией в левой части. Общий случай введения параметра. Дифференциальные уравнения, разрешимые относительно аргумента или неизвестной функции. Уравнения Лагранжа и Клеро. Понятие об огибающей семейства кривых. Теорема об огибающей семейства интегральных кривых. Теорема существования решения дифференциального уравнения первого порядка, не разрешенного относительно производной.  $P$ -дискриминантная кривая и ее связь с особыми решениями.

### Раздел 2. Дифференциальные уравнения высших порядков.

Дифференциальное уравнение  $n$ -го порядка, разрешенное относительно старшей производной. Сведение его к нормальной системе уравнений. Теоремы существования и единственности, непрерывной зависимости решения нормальной системы от начальных условий и от параметров. Теорема существования и единственности решения уравнения  $n$ -го порядка, разрешенного относительно старшей производной, как следствие теоремы существования и единственности решения нормальной системы. Частные случаи дифференциального уравнения  $n$ -го порядка, допускающие понижение порядка. Теорема существования и единственности решения линейного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка с непрерывными коэффициентами. Общая теория линейного однородного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка. Определитель Вронского, проверка независимости решений. Фундаментальная система решений. Структура общего решения линейного однородного дифференциального уравнения. Теоремы о максимальном числе линейно-независимых решений и о тождественности уравнений. Построение линейного дифференциального уравнения по фундаментальной системе решений. Формула Лиувилля и ее применение. Способ понижения порядка линейного однородного уравнения при известном частном решении. Структура общего решения линейного неоднородного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка. Принцип суперпозиции. Метод вариации произвольных постоянных для отыскания частного решения

неоднородного уравнения  $n$ -го порядка. Функция Грина. Линейное однородное уравнение  $n$ -го порядка с постоянными коэффициентами. Операторные многочлены и их свойства. Разложение операторного многочлена на линейные множители. Действие операторного многочлена на простейшие функции. Формула смещения. Характеристический многочлен и характеристическое уравнение. Построение фундаментальной системы решений линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами в случае простых и кратных корней характеристического многочлена (действительных или комплексных). Линейные неоднородные уравнения с постоянными коэффициентами. Квазиполиномы и их свойства. Структура частного решения линейного неоднородного уравнения с постоянными коэффициентами и квазиполиномом в правой части. Операторный метод отыскания частного решения такого уравнения. Уравнение Эйлера. Интегрирование однородных линейных дифференциальных уравнений с помощью рядов. Отыскание фундаментальной системы решений уравнений Эйри и Бесселя.

### **Раздел 3. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений.**

Эквивалентность нормальной системы  $n$  дифференциальных уравнений одному уравнению  $n$ -го порядка, разрешенному относительно старшей производной. Теоремы о непрерывной зависимости и непрерывной дифференцируемости решения нормальной системы по начальным условиям и по параметру. Первые интегралы нормальной системы дифференциальных уравнений. Необходимое и достаточное условие для того, чтобы непрерывно-дифференцируемая функция была первым интегралом нормальной системы. Теорема о максимальном числе независимых первых интегралов. Эквивалентность отыскания  $n$  независимых первых интегралов построению общего решения нормальной системы. Понижение порядка нормальной системы, если известна часть первых интегралов. Симметричная форма системы дифференциальных уравнений. Интегрируемые комбинации. Общая теория линейных однородных систем дифференциальных уравнений с непрерывными коэффициентами. Фундаментальная система решений. Построение линейной однородной системы по фундаментальной системе решений. Структура общего решения линейной неоднородной системы. Метод вариации произвольных постоянных для отыскания частного решения линейной неоднородной системы. Линейные однородные системы с постоянными коэффициентами. Характеристическое уравнение как уравнение на отыскание собственных значений и собственных векторов матрицы системы. Вид фундаментальной системы решений в случае простых корней (действительных и комплексных). Вид фундаментальной системы решений в случаях, когда характеристическое уравнение имеет кратные корни и различные значения ранга характеристической матрицы. Метод исключения для линейных систем с постоянными коэффициентами общего вида.

### **Раздел 4. Интегральные уравнения.**

Классификация линейных интегральных уравнений по родам. Уравнения Вольтера. Уравнения Фредгольма 2-го рода. Уравнения с вырожденным ядром. Существование решения уравнения Фредгольма с малым ядром. Существование решения уравнения Вольтерра. Теоремы Фредгольма. Спектральная теория уравнений Фредгольма с симметричными ядрами. Свойства спектра собственных чисел. Теорема Гильберта-Шмидта. Задача Штурма-Лиувилля и интегральные уравнения. Теоремы Гильберта об интегральном представлении решения краевой задачи через функцию Грина. Вывод теоремы Стеклова из теоремы Гильберта-Шмидта.

### **Раздел 5. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.**

Методы, основанные на разложении в ряд Тейлора. Методы Рунге-Кутты. Погрешность аппроксимации и устойчивость разностной схемы. Устойчивость и сходимость.

Обоснование метода Эйлера и его вычислительной устойчивости.

## **Раздел 6. Вариационное исчисление.**

Простейшая задача вариационного исчисления. Основная лемма вариационного исчисления. Первая вариация. Уравнение Эйлера. Экстремали. Основные случаи интегрируемости уравнения Эйлера. Расширение вариационных задач. Вариационная задача на классе векторных функций. Вариационная задача со старшими производными. Уравнение Эйлера-Пуассона. Вариационная задача на классе функций многих переменных. Уравнение Эйлера-Остроградского. Вариационные задачи на условный экстремум. Задача Лагранжа. Изопериметрическая вариационная задача. Вариационные задачи с подвижными границами. Условия трансверсальности различных видов. Неклассические вариационные задачи. Задача оптимального управления. Принцип максимума Л.С. Понтрягина. Решение задачи об оптимальной остановке материальной точки.

### 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. - М. Наука, 1966.
2. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М. Наука, 1982.
3. Эльсгольд Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. - М. Наука, 1969.
4. Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. - М. Наука, 1984.
5. Тихонов А.Н., Васильева А.Б., Свешников А.Г. Дифференциальные уравнения. - М. Физматлит, 1995.
6. Филиппов А.Ф. Сборник задач по дифференциальным уравнениям. - М. Наука, 1992; - М. Интеграл-пресс, 1998.
7. Розенблюм А.А. Интегрирование дифференциальных уравнений операторным методом. Методическое пособие. - Горький. ГГУ, 1980.
8. Петровский И.Г., Лекции по теории интегральных уравнений. – М.: Гостехиздат, 1951.

б) дополнительная литература:

1. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М. Наука, 1984.
2. Матвеев Н.М. Дифференциальные уравнения. - М. Просвещение, 1988.
3. Федорюк М.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М. Наука, 1985.
4. Карташев А.П., Рождественский Б.Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. - М. Наука, 1986.
5. Немыцкий В.В., Степанов В.В. Качественная теория дифференциальных уравнений. - М. ГИТТЛ, 1949.
6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. - М. Наука, 1976.

### 8. Вопросы для контроля

1. Основные определения: обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных, порядок уравнения, общее решение, начальные условия, частное решение. Физические примеры.
2. Геометрическая интерпретация дифференциального уравнения первого порядка, разрешенного относительно производной. Интегральные кривые. Поле направлений. Метод изоклин.

3. Построение дифференциального уравнения по заданному общему решению.
4. Простейшие дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными и приводимые к ним. Особые решения.
5. Однородные уравнения и приводимые к ним.
6. Линейные дифференциальные уравнения первого порядка. Структура общего решения линейного неоднородного уравнения. Построение общего решения по известным частным решениям.
7. Уравнения Бернулли и Риккати.
8. Уравнение в полных дифференциалах. Понятие первого интеграла, его отличие от общего интеграла.
9. Необходимое и достаточное условие, чтобы дифференциальная форма была полным дифференциалом.
10. Интегрирующий множитель. Теоремы об интегрирующем множителе. Приемы отыскания интегрирующих множителей.
11. Теорема существования и единственности решения дифференциального уравнения первого порядка, разрешенного относительно производной.
12. Решение дифференциального уравнения методом последовательных приближений. Геометрическая интерпретация принципа сжимающих отображений.
13. Метод продолжения решений. Непродолжаемые решения. Построение непродолжаемого решения, удовлетворяющего заданным начальным условиям.
14. Теорема о примыкании непродолжаемого решения к границе области.
15. Степень гладкости решений дифференциального уравнения первого порядка.
16. Непрерывная зависимость решения дифференциального уравнения первого порядка от начальных условий и от параметров.
17. Простые особые точки. Особые решения.
18. Дифференциальные уравнения первого порядка, неразрешенные относительно производной. Уравнения, не содержащие явно независимой переменной, неизвестной функции.
19. Уравнение с однородной функцией. Общий случай введения параметра.
20. Дифференциальные уравнения, разрешимые относительно аргумента или функции. Уравнение Лагранжа.
21. Уравнение Клеро. Понятия  $S$ -дискриминантной кривой и огибающей семейства кривых, их связь. Теорема об огибающей семейства интегральных кривых.
22. Теорема существования решения уравнения первого порядка, неразрешенного относительно производной.  $P$ -дискриминантная кривая и особые решения.
23. Сведение уравнения  $n$ -го порядка, разрешенного относительно производной, к нормальной системе уравнений. Теорема существования и единственности решения уравнения  $n$ -го порядка, разрешенного относительно старшей производной, как следствие теоремы существования и единственности решения нормальной системы.
24. Некоторые способы понижения порядка дифференциального уравнения, неразрешенного относительно старшей производной.
25. Теорема существования и единственности решения линейного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка. Понятие линейного дифференциального оператора, его свойства.
26. Определитель Вронского для решений однородного уравнения, его свойства.
27. Фундаментальная система решений. Теоремы о существовании фундаментальной системы решений, о ее линейном невырожденном преобразовании.
28. Теорема о структуре общего решения линейного однородного уравнения  $n$ -го порядка.
29. Теорема о максимальном числе линейно независимых решений однородного уравнения. Теорема о тождественности линейных уравнений с одной и той же фундаментальной системой решений.

30. Построение линейного однородного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка по фундаментальной системе решений.
31. Правило дифференцирования функционального определителя. Формула Лиувилля. Применение формулы Лиувилля для понижения порядка линейного однородного уравнения 2-го порядка.
32. Способ понижения порядка линейного однородного дифференциального уравнения, когда известно его частное решение.
33. Структура общего решения линейного неоднородного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка. Принцип суперпозиции.
34. Метод вариации произвольных постоянных для отыскания частного решения линейного неоднородного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка. Интегральная запись частного решения. Функция Грина.
35. Линейное однородное дифференциальное уравнение  $n$ -го порядка с постоянными коэффициентами. Оператор дифференцирования. Операторные многочлены и их свойства. Разложение операторного многочлена на линейные множители.
36. Характеристический многочлен и характеристическое уравнение. Построение фундаментальной системы решений линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами в случае простых корней характеристического многочлена (действительных и комплексных).
37. Формула смещения. Действие операторного многочлена на простейшие функции.
38. Построение фундаментальной системы решений линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами в случае кратных корней характеристического многочлена (действительных и комплексных).
39. Квазиполиномы и их свойства. Теорема о структуре частного решения линейного неоднородного уравнения с постоянными коэффициентами и квазиполиномом в правой части.
40. Операторный метод отыскания частного решения линейного неоднородного уравнения с постоянными коэффициентами. Понятие обратного оператора, его свойства. Действие обратного оператора на простейшие функции. Формула смещения. Разложение обратного оператора на простейшие дроби.
41. Уравнение Эйлера. Представление фундаментальной системы решений уравнения Эйлера в зависимости от вида корней характеристического многочлена. Способ отыскания частного решения уравнения Эйлера.
42. Теорема существования решений дифференциального уравнения в виде степенного ряда (без доказательства). Уравнение Эйри.
43. Теорема существования решений дифференциального уравнения в виде обобщенного степенного ряда (без доказательства). Уравнение Бесселя.
44. Теорема об эквивалентности нормальной системы  $n$  дифференциальных уравнений и одного уравнения  $n$ -го порядка, разрешенного относительно старшей производной. Метод исключения.
45. Теоремы о непрерывной зависимости и о дифференцируемости решения нормальной системы по начальным условиям и по параметру (без доказательства). Определение первого интеграла для нормальной системы дифференциальных уравнений. Независимость интегралов. Существование  $n$  независимых первых интегралов, как следствие теоремы о дифференцируемости решений нормальной системы по начальным условиям.
46. Необходимое и достаточное условие для того, чтобы непрерывно дифференцируемая функция являлась первым интегралом нормальной системы.
47. Теорема о максимальном числе независимых первых интегралов.
48. Эквивалентность отыскания  $n$  независимых первых интегралов построению общего решения нормальной системы.
49. Способ понижения порядка системы, если известна часть первых интегралов.

50. Симметричная форма системы дифференциальных уравнений. Необходимое и достаточное условие для первых интегралов симметричной системы. Интегрируемые комбинации.
51. Нормальная система линейных однородных уравнений с непрерывными коэффициентами. Теоремы: единственности, о тривиальном решении, о линейной комбинации и о линейной зависимости решений.
52. Фундаментальная система решений. Теорема о ее существовании. Структура общего решения линейной однородной системы.
53. Теоремы о максимальном числе линейно независимых решений, о линейном невырожденном преобразовании фундаментальной системы решений.
54. Определитель Вронского для системы решений нормальной системы линейных однородных уравнений, его свойства.
55. Построение линейной однородной нормальной системы дифференциальных уравнений по ее фундаментальной системе решений.
56. Формула Лиувилля для определителя Вронского решений нормальной системы.
57. Теорема об общем виде решения линейной неоднородной системы дифференциальных уравнений.
58. Метод вариации произвольных постоянных для отыскания частного решения линейной неоднородной системы.
59. Линейные однородные системы с постоянными коэффициентами. Характеристическая матрица и характеристическое уравнение. Вид фундаментальной системы решений в случае простых корней (действительных и комплексных).
60. Вид фундаментальной системы решений в случае, когда характеристическое уравнение имеет кратные корни: а) ранг характеристической матрицы  $r$  имеет наименьшее значение ( $r=n-m$ ,  $m$  - кратность корня), б)  $r>n-m$ .
61. Метод исключения для линейных систем дифференциальных уравнений произвольного вида с постоянными коэффициентами.
62. Классификация линейных интегральных уравнений.
63. Интегральные уравнения с вырожденным ядром.
64. Существование решения уравнения Фредгольма с малым ядром.
65. Существование решения уравнения Вольтерра.
66. Теоремы Фредгольма.
67. Уравнения с симметричными ядрами. Свойства спектра. Теорема Гильберта-Шмидта.
68. Сведение задачи Штурма-Лиувилля к интегральному уравнению с симметричным ядром. Теоремы Гильберта.
69. Вывод теоремы Стеклова из теоремы Гильберта-Шмидта.
70. Численные методы решения дифференциальных уравнений, основанные на разложении в ряд Тейлора.
71. Методы Рунге-Кутты.
72. Погрешность аппроксимации и устойчивость разностной схемы. Устойчивость и сходимость.
73. Обоснование метода Эйлера и его вычислительной устойчивости.
74. Функционал. Понятие экстремальной задачи. Функционал вариационного исчисления. Постановка простейшей задачи вариационного исчисления.
75. Основная лемма вариационного исчисления.
76. Вывод необходимых условий экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Экстремали.
77. Случаи интегрируемости уравнения Эйлера.
78. Вариационная задача на классе векторных функций.
79. Вариационная задача на классе функций со старшими производными.
80. Вариационная задача на классе функций многих переменных.



ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины «Теория вероятностей и математическая статистика» направлено на ознакомление студентов с основными понятиями и методами теории вероятностей, идеями и аппаратом математической статистики, которые необходимы при обработке результатов эксперимента, анализе случайных явлений, возникающих в радиофизических приложениях и при передаче информации.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Теория вероятностей и математическая статистика» относится к дисциплинам базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Теория вероятностей и математическая статистика» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения студенты должны:

- знать основные алгоритмы решения задач теории вероятностей и математической статистики; методы статистического описания случайных событий и случайных величин;
- уметь применять теорию вероятностей и математическую статистику к решению инженерных задач, определять вероятности прогнозируемых событий; оценивать статистические параметры случайных величин;
- иметь представление о роли вероятностных и статистических методов в теоретических и прикладных расчетах будущих специалистов в области радиофизики и радиоэлектроники.

### 4. Объём дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>4</b>
Аудиторные занятия	51	4
Лекции	34	4
Практические занятия (ПЗ)	17	4
Самостоятельная работа	57	4
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	4

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Основные понятия теории вероятностей.	*	*	
2	Теория случайных величин.	*	*	
3	Элементы математической статистики.	*		

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### **Раздел 1. Основные понятия теории вероятностей.**

#### 1.1. Элементы комбинаторики и схемы шансов.

Испытание и понятие элементарного события. Схемы шансов: эксперименты с и без возвращения, с учетом и без учета порядка.

#### 1.2. Аксиоматика теории вероятностей.

Пространство случайных событий и операции над событиями. Алгебра и  $\sigma$ -алгебра событий. Аксиомы вероятности и вероятностное пространство. Свойства вероятности, вытекающие из аксиом.

#### 1.3. Способы исчисления вероятностей.

Статистическое, классическое и геометрическое определения вероятностей. Вероятность на счётном пространстве элементарных событий. Задача Бюффона. Парадокс Бертрана.

#### 1.4. Основные соотношения теории вероятностей.

Условная вероятность Теорема умножения вероятностей. Независимые события. Теорема сложения вероятностей. Теорема сложения для независимых и несовместных событий. Формула полной вероятности. Формула Байеса.

#### 1.5. Основные дискретные распределения.

Схема Бернулли. Наиболее вероятное число успехов. Геометрическое распределение. Гипергеометрическое распределение. Схема независимых испытаний с несколькими исходами. Конечные однородные цепи Маркова. Распределение Пуассона.

### **Раздел 2. Теория случайных величин.**

#### 2.1. Основы теории случайных величин.

Случайные величины. Функция распределения вероятностей и её свойства. Дискретные и абсолютно непрерывные случайные величины. Плотность вероятностей. Равномерное, показательное и нормальное распределения. Преобразования плотностей вероятностей функции от одной случайной величины: случаи монотонных, немонотонных и разрывных функций.

#### 2.2. Многомерные функции распределения.

Случайные векторы, их функции распределения и свойства. Условные плотности вероятностей. Независимые случайные величины. Вероятностное распределение функции нескольких случайных величин. Распределение суммы, произведения и частного случайных величин.  $\chi^2$ -распределение и распределение Стьюдента.

#### 2.3. Числовые характеристики случайных величин.

Начальные и центральные моменты. Математическое ожидание и дисперсия и их свойства. Числовые характеристики зависимости: ковариация и коэффициент корреляции.

#### 2.4. Предельные теоремы.

Неравенства Чебышёва и Маркова. Последовательности случайных величин и виды их сходимости. Законы больших чисел в форме Чебышёва, Хинчина, Бернулли и Пуассона. Предельные теоремы биномиального распределения: интегральная и дифференциальная теоремы Муавра-Лапласа. Центральная предельная теорема.

#### 2.5. Характеристические функции.

Характеристической функции и их свойства. Свойство положительной определенности. Кумулянты случайных величин. Асимметрия и эксцесс. Гауссовы совокупности. Многомерная характеристическая функция гауссовской совокупности. Двумерное гауссово распределение. Эллипс рассеяния. Условные гауссовы распределения. Конечные однородные цепи Маркова.

### **Раздел 3. Элементы математической статистики.**

#### 3.1. Линейная регрессия.

Постановка задачи прогнозирования. Среднеквадратичная ошибка линейного прогнозирования. Корреляционная матрица. Коэффициент корреляции. Некоррелированность и статистическая независимость.

### 3.2. Основные задачи математической статистики.

Выборочный метод. Понятия выборки, выборочного пространства, статистики. Статистические критерии. Проверка простой и сложной гипотез. Критерии для проверки гипотез о параметрах нормального и биномиального распределений. Точечная и интервальная оценки статистического параметра. Неравенство Рао-Крамера. Точечные оценки среднего значения и дисперсии случайной величины. Понятия несмещенной, состоятельной и эффективной оценок параметров. Приближенный и точный методы построения доверительных интервалов для среднего. Доверительные интервалы для нормального распределения.

### 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. - М.: Наука, 1988.
2. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. - М.: Агар, 1996.
3. Боровков А.А. Теория вероятностей. - М.: Эдиториал УРСС, 1999.
4. Севастьянов Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики. - М.: Наука, 1982.
5. Задачи по теории вероятностей (сост. А.Т. Гаврилин, А.А. Дубков). Практикум. - Н.Новгород: ННГУ, 2010.

6. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций (под редакцией А.А. Свешникова). - М.: Наука, 1970.

б) дополнительная литература:

1. Коваленко И.Н., Филиппова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 1982.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Высшая школа, 1998.
3. Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И. Теория вероятностей и математическая статистика. - Киев: Высшая школа, 1988.
4. Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. - М.: Наука, 1969.
5. Агапов Г.И. Задачник по теории вероятностей. - М.: Высшая школа, 1986.

### 8. Вопросы для контроля

1. Определение относительной частоты появления случайного события, статистического определения вероятностей, понятия статистической устойчивости случайных событий.
2. Понятие схемы шансов и основных формул комбинаторики.
3. Геометрическое определение вероятностей. Задача Бюффона.
4. Формулировка теорем сложения и умножения вероятностей.
5. Понятие независимых и несовместных случайных событий. Понятие условной вероятности.
6. Формула полной вероятности и формула Байеса.
7. Понятие случайных событий и описание их с помощью интегральной и дифференциальной функций распределения. Свойства функций распределения
8. Понятие совместной и условной плотности вероятностей. Их свойства.
9. Испытания Бернулли. Биномиальное распределение

10. Предельные теоремы теории вероятностей. Центральная предельная теорема. Гауссова плотность вероятностей.
11. Закон редких событий. Распределение Пуассона.
12. Понятие корреляции и ковариационной матрицы случайных величин. Независимость и некоррелированность случайных величин.
13. Понятие гауссовой совокупности случайных величин. Совместная плотность вероятностей совокупности двух гауссовых величин.
14. Аппарат характеристических функций случайных величин. Свойства характеристической функции. Характеристическая функция суммы статистически независимых случайных величин.
15. Теорема Чебышева. Закон больших чисел в форме Чебышева.
16. Преобразование распределений случайных величин при нелинейных безынерционных преобразованиях случайных величин.
17. Распределение суммы, произведения и частного двух случайных величин.
18. Понятие гистограммы случайной величины.
19. Метод наименьших квадратов.
20. Оценки параметров распределений случайных величин. Несмещенная и эффективная оценки. Несмещенные оценки математического ожидания и дисперсии случайной величины.
21.  $\chi^2$ -распределение. Распределение Стьюдента с  $n$  степенями свободы.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**АЛГОРИТМЫ И ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина «Алгоритмы и языки программирования» обеспечивает приобретение знаний и умений в соответствии с ФГОС ВПО, содействует формированию мировоззрения и системного мышления. Целью преподавания дисциплины «Алгоритмы и языки программирования» является подготовка бакалавров к деятельности в сфере разработки, исследования и эксплуатации информационных систем. Основной упор при этом делается на изучение методики постановки и решения вычислительных задач на современных ЭВМ, на формирование у обучаемых логически обоснованного подхода к выбору средств достижения результата и проведение анализа этого результата.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Алгоритмы и языки программирования» относится к дисциплинам базовой части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина опирается на материалы курсов математического анализа, аналитической геометрии и высшей алгебры.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Алгоритмы и языки программирования» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность к овладению базовыми знаниями в области информатики современных информационных технологий, программными средствами и навыками работы в компьютерных сетях, использованию ресурсов Интернет (ОК -14).

В результате изучения дисциплины студенты (слушатели) должны пройти определенные этапы образования и приобрести следующие практические навыки:

- ознакомление с доступными техническими средствами и принципами их действия;
- практическая работа в системах коллективного пользования;
- освоение необходимого набора инструментальных средств системного программного обеспечения;
- изучение основ алгоритмизации и принципов использования алгоритмических языков программирования для постановки и решения прикладных задач на ЭВМ;
- изучение инструментальных средств решения практических задач на примере одного из алгоритмических языков высокого уровня;
- приобретение опыта в решении практических задач на примере традиционного набора простейших задач вычислительной математики;
- краткое ознакомление с простейшими приемами математического моделирования на ЭВМ и проведения вычислительного эксперимента.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы 72 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>2</b>

Аудиторные занятия	34	2
Лекции	17	2
Лабораторные работы (ЛР)	17	2
Самостоятельная работа	38	2
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	2

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Введение. Технические средства ЭВМ.	*		*
2	Системы коллективного пользования.	*		
3	Системное программное обеспечение.	*		*
4	Основы алгоритмизации и принципы использования алгоритмических языков.	*		*
5	Двоичное представление данных ЭВМ.	*		*

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### **Раздел 1. Введение. Технические средства ЭВМ.**

Организация информационных потоков в ходе работы цифровой ЭВМ. Ее структура и общий принцип действия. Основные элементы технических средств ЭВМ. Периферийные устройства цифровой ЭВМ и принцип их действия. Практическая работа с аппаратными средствами ЭВМ.

#### **Раздел 2. Системы коллективного пользования.**

Общая структура системы коллективного пользования. Разделение ресурсов в системе коллективного пользования. Локальные и глобальные сети ЭВМ. Защита информации от несанкционированного доступа.

#### **Раздел 3. Системное программное обеспечение.**

Понятие операционной системы. Общая структура системного программного обеспечения. Инструментальные средства системного программного обеспечения. Назначение и основные команды MS WINDOWS, Novell NetWare, OS UNIX. Работа с текстовыми редакторами. Редактирование, компиляция, компоновка и выполнение простейших программ в средах MS WINDOWS и OS UNIX.

#### **Раздел 4. Основы алгоритмизации и принципы использования алгоритмических языков.**

Понятие алгоритма. Блок-схема алгоритма. Алгоритмические языки высокого уровня. Операторы. Метки. Комментарии. Формат строки. Базисные элементы языка. Типы данных. Константы. Переменные. Идентификаторы. Принцип умолчания. Описание типов данных. Индексированные переменные и массивы данных. Описание. Размещение и инициализация в памяти ЭВМ. Присваивание значения. Типы выражений. Арифметические выражения. Выражения отношений. Логические выражения. Операции. Приоритет операций, ранги операндов. Структура программного модуля. Алгоритм линейной структуры. Вычисление арифметического выражения. Алгоритмы разветвляющейся структуры. Безусловные и условные переходы. Вычисление арифметического выражения при наличии дополнительных условий. Алгоритмы циклической структуры. Правила явной организации циклов. Вычисление таблицы арифметического выражения при наличии дополнительных условий. Цикл общего вида.



Цикл по условию. Итерационный цикл. Счетный цикл. Вычисление стандартной функции через суммирование сходящегося ряда с заданной степенью точности. Суммирование оптимизированного ряда. Рекуррентные формулы. Комбинированное использование явной и счетной циклических структур. Числовые вектора и матрицы. Размещение в памяти, инициализация, ввод-вывод. Работа со строками, столбцами, элементами. Текстовые константы, переменные, вектора и матрицы. Размещение в памяти, инициализация, ввод-вывод. Работа со строками, столбцами, элементами. Организация многомерных счетных циклических структур. Функции и подпрограммы. Формальные и фактические параметры. Способы передачи данных. Принцип модульного программирования. Ввод-вывод информации. Управление вводом-выводом. Хранение данных. Поля, записи, базы данных. Организация таблиц различных типов данных.

## Раздел 5. Двоичное представление данных ЭВМ.

Системы счисления. Двоичное представление основных типов данных ЭВМ. Абсолютная и относительная точность. Погрешность вычислений.

### 6. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы
1	1	Организационные вопросы. Ознакомление с аппаратными средствами ЭВМ.
2	3	Назначение и основные команды Novell NetWare.
3	3	Назначение и основные команды MS WINDOWS. Работа с текстовым редактором. Назначение и основные команды OS UNIX. Работа с текстовым редактором. Редактирование, компиляция, компоновка и выполнение простейших программ в средах MS WINDOWS и OS UNIX.
4	4	Вычисление арифметического выражения. Алгоритм линейной структуры.
5	4	Вычисление арифметического выражения при наличии дополнительных условий. Алгоритм разветвляющейся структуры.
6	4	Вычисление таблицы арифметического выражения при наличии дополнительных условий. Явная организация циклической структуры.
7	4	Вычисление стандартной функции через суммирование сходящегося ряда с заданной степенью точности. Суммирование оптимизированного ряда. Рекуррентные формулы. Комбинированное использование явной и счетной циклических структур.
8	4	Числовые вектора и матрицы. Размещение в памяти, инициализация, ввод-вывод. Работа со строками, столбцами, элементами. Организация многомерных счетных циклических структур.
9	4	Текстовые константы, переменные, вектора и матрицы. Размещение в памяти, инициализация, ввод-вывод. Работа со строками, столбцами, элементами. Организация многомерных счетных циклических структур.
10	4	Использование пользовательских подпрограмм и функций при решении задач аналитической геометрии на плоскости.
11	5	Организация таблиц различных типов данных.

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Рекомендуемая литература.

#### а) основная литература:

1. Морс С.П., Алберт Д.Д. Архитектура микропроцессора 80286 / Пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1990. - 304 с.
2. Савин В.А. Представление данных цифровых ЭВМ / Методическая разработка для студентов радиофизического факультета ННГУ. – Н.Новгород: ННГУ, 2001. - 58 с.
3. Савин В.А. Практикум на ЭВМ: Сборник заданий / Методическая разработка для студентов радиофизического факультета ННГУ. – Н.Новгород: ННГУ, 1996. - 78 с.
4. Браун П. Введение в операционную систему UNIX / Пер. с англ. - М. : Мир, 1987. - 288 с.
5. Финогенов К.Г., Черных В.И. MS-DOS. - М. : ABF, 1993. - 448 с.
6. Фролов А.В., Фролов Г.В. Введение в MS DOS, MS WINDOWS, MS WORD for WINDOWS. - М. : Диалог-Мифи, 1994. - 264 с.
7. Фролов А.В., Фролов Г.В. Локальные сети персональных компьютеров. - М. : Диалог-Мифи, 1993.
8. Браух В. Программирование на Фортране 77 для инженеров /Пер. с нем. - М. : Мир, 1987. - 200 с.
9. Катцан Г. Язык Фортран 77 / Пер. с англ. - М. : Мир, 1982. - 208 с.
10. Болски М.И. Язык программирования Си: Справочник / Пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1988. - 96 с.
11. Трой Д. Программирование на языке Си для персонального компьютера IBM PC /Пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1991. - 432 с.
12. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования Си / Пер. с англ. - М. : Финансы и статистика, 1992. - 272 с.

#### б) дополнительная литература:

1. Экхауз Р., Моррис Л. Мини-ЭВМ: Организация и программирование / Пер. с англ. - М. : Финансы и статистика, 1983. - 359 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М. : Наука, 1986. - 544 с.
3. Математическая энциклопедия / Гл. ред. И. М. Виноградов, т. 1 - 5. - М. : Советская Энциклопедия, 1985.
4. Керниган Б.В., Пайк Р. UNIX - универсальная среда программирования / Пер. с англ. - М. : Финансы и статистика, 1992. - 304 с.
5. MS-DOS: User's Guide.
6. MS-WINDOWS: User's Guide.
7. Novell NetWare: User's Manual.
8. Грунд Ф. Программирование на языке ФОРТРАН IV / Пер. с нем. - М. : Мир, 1976. - 184 с.
9. Калдербенк В. Д. Курс программирования на ФОРТРАНе-IV / Пер. с англ. - М. : Энергия, 1978. - 87 с.
10. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране / Пер. с англ. - М. : Мир, 1977. - 584 с.
11. Джехани Н. Программирование на языке Си / Пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1988. - 270 с.
12. Хэнкок Л., Кригер М. Введение в программирование на языке Си / Пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1986. - 192 с.

## 8. Вопросы для контроля

1. Основные элементы технических средств ЭВМ.
2. Структура и общий принцип действия цифровой ЭВМ.

3. Периферийные устройства цифровой ЭВМ и принцип их действия.
4. Общая структура системы коллективного пользования.
5. Разделение ресурсов в системе коллективного пользования.
6. Понятие операционной системы.
7. Общая структура системного программного обеспечения.
8. Инструментальные средства системного программного обеспечения.
9. Основные команды MS DOS.
10. Основные команды OS UNIX.
11. Основные команды Novell NetWare.
12. Оболочки Norton Commander и Windows в практической работе.
13. Основные команды текстовых редакторов.
14. Редактирование, компиляция, компоновка и выполнение программ.
15. Понятие алгоритма.
16. Блок-схема алгоритма.
17. Алгоритмические языки высокого уровня.
18. Операторы.
19. Метки.
20. Комментарии.
21. Формат строки.
22. Базисные элементы языка.
23. Типы данных.
24. Константы.
25. Переменные.
26. Идентификаторы.
27. Принцип умолчания.
28. Индексированные переменные и массивы данных.
29. Присваивание значения.
30. Типы выражений.
31. Арифметические выражения.
32. Выражения отношений.
33. Логические выражения.
34. Операции.
35. Приоритет операций.
36. Ранги операндов.
37. Структура программного модуля.
38. Алгоритм линейной структуры.
39. Алгоритмы разветвляющейся структуры.
40. Безусловные и условные переходы.
41. Алгоритмы циклической структуры.
42. Правила явной организации циклов.
43. Цикл общего вида.
44. Цикл по условию.
45. Итерационный цикл.
46. Счетный цикл.
47. Функции и подпрограммы.
48. Область действия переменных и меток.
49. Статические (постоянные) переменные.
50. Динамические (временные) переменные.
51. Глобальные и локальные переменные.
52. Формальные и фактические параметры.
53. Передача данных по адресу.
54. Передача данных по значению.

55. Принцип модульного программирования.
56. Межмодульные связи.
57. Ввод-вывод информации. Хранение данных.
58. Управление вводом-выводом. Поля, записи, базы данных.
59. Позиционные системы счисления.
60. Двоичное представление и диапазон целочисленных данных.
61. Двоичное представление и диапазон данных с плавающей точкой.
62. Двоичное представление текстовых данных.
63. Абсолютная и относительная точность.
64. Погрешность вычислений.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины «Методы математической физики» направлено на подготовку специалистов в области важного раздела математики, составляющего необходимую базу для проведения исследований и расчетов в естественнонаучных, технических и специальных дисциплинах.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Методы математической физики» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Методы математической физики» формируются следующие компетенции:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики, их использованию в профессиональной деятельности (ОК -8);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии (ОК -10);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12).

В результате изучения студенты должны:

- знать основные методы решений уравнений в частных производных математической физики,
- уметь осуществлять математическую постановку физических задач, решать поставленные задачи указанными методами, исследовать полученные решения в сопоставлении с физическими особенностями решаемой задачи,
- иметь представление об обобщенных функциях, действиях с этими функциями и их применении как при решении физических задач, так и при построении фундаментальных решений уравнений в частных производных математической физики.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>4</b>
Аудиторные занятия	68	4
Лекции	34	4
Практические занятия (ПЗ)	34	4
Самостоятельная работа	40	4
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	4

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Классификация уравнений в частных производных	*	-	-
2	Вывод основных уравнений математической физики	*	-	-

3	Метод Даламбера для волнового уравнения	*	*	-
4	Теория Штурма-Лиувилля	*	-	-
5	Метод Фурье	*	*	-
6	Специальные функции математической физики	*	*	-
7	Интегральные преобразования	*	*	-
8	Метод функций Грина для уравнений параболического типа	*	*	-
9	Уравнения эллиптического типа	*	*	-
10	Понятие о нелинейных уравнениях математической физики	*	-	-

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### **Раздел 1. Классификация уравнений в частных производных.**

Классификация линейных дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Каноническая форма записи уравнения с двумя независимыми переменными: эллиптический, параболический и гиперболический типы уравнений в точке. Уравнения характеристик. Корректность постановки задач математической физики. Класс корректности. Основные типы начально-краевых задач. Пример Адамара некорректно поставленной задачи.

### **Раздел 2. Вывод основных уравнений математической физики.**

Уравнение продольных колебаний стержня. Три типа граничных условий для стержня (жесткое закрепление, условие свободного конца, упругое закрепление). Неоднородные граничные условия в задачах о колебаниях стержня. Вывод телеграфных уравнений. Уравнение теплопроводности для стержня. Уравнение диффузии. Распространение тепла в пространстве. Граничные условия для уравнений теплопроводности. Основные задачи, приводящие к уравнениям эллиптического типа.

### **Раздел 3. Метод Даламбера для волнового уравнения.**

Метод бегущих волн решений гиперболического уравнения. Вывод формулы Даламбера в задаче Коши для волнового уравнения с одной пространственной переменной. Построение решения задачи Коши с помощью фазовой плоскости. Нахождение решения для неоднородного уравнения. Сведение задачи для полупрямой к задаче на всей прямой четным или нечетным образом в зависимости от граничного условия. Решение задачи для волнового уравнения на полупрямой с упругим закреплением на конце. Решение телеграфного уравнения линии без искажений методом Даламбера. Вывод формул решения смешанной задачи одномерного волнового уравнения для граничных условий первого и второго типа. Периодическое продолжение смешанной задачи для конечного отрезка на всю прямую с последующим использованием формулы Даламбера. Задача о распространении граничного режима.

### **Раздел 4. Теория Штурма-Лиувилля.**

Основные понятия функционального анализа (метрическое пространство, предел последовательности в метрическом пространстве, фундаментальная последовательность, полное метрическое пространство, линейное пространство, нормированное пространство, сходимости в среднем, банахово пространство, скалярное произведение, гильбертово пространство, ортонормированная система в гильбертовом пространстве, полная ортогональная система элементов). Линейный оператор. Симметричный оператор. Положительный оператор. Собственные числа и собственные значения линейного оператора. Свойства собственных чисел и собственных значений

симметричного оператора. Ортогональность двух непрерывных функций на сегменте  $[a, b]$ . Норма непрерывной функции. Дифференциальные линейные операторы второго порядка. Необходимое и достаточное условие симметричности дифференциального оператора. Ортогональность функций с весом. Самосопряженная и несамосопряженная задачи для дифференциального оператора. Сведение несамосопряженной задачи к самосопряженной (отыскание весовой функции). Определение задачи Штурма-Лиувилля. Пример решения задачи Штурма-Лиувилля. Свойства оператора Штурма-Лиувилля, его собственных чисел и собственных функций. Понятие кратного и простого собственного значения. Экстремальные свойства собственных значений задачи Штурма-Лиувилля. Теоремы сравнения для собственных значений задачи Штурма-Лиувилля. Ряд Фурье по системе собственных функций задачи Штурма-Лиувилля. Частичная сумма ряда Фурье. Остаток ряда Фурье. Сходимость в среднем ряда Фурье. Свойство остатка ряда Фурье. Теорема Стеклова.

### **Раздел 5. Метод Фурье.**

Схема метода разделения переменных решения однородных смешанных задач для уравнения гиперболического типа. Задача о свободных колебаниях стержня со свободными концами в среде без сопротивления. Анализ решения. Решение смешанной задачи для волнового уравнения со стационарной неоднородностью. Задачи для волнового уравнения с неоднородностью, изменяющейся во времени. Общая схема метода Фурье. Использование дельта-функции при решении смешанных задач. Понятие многомерной задачи для гиперболического уравнения. Колебания прямоугольной мембраны.

### **Раздел 6. Специальные функции математической физики.**

Определение и основные свойства гамма-функции. Уравнение Бесселя. Отыскание решения уравнения Бесселя в виде обобщенного степенного ряда. Функции Бесселя первого рода. Функции Бесселя целого порядка. Функции Неймана. Общее решение уравнения Бесселя. Ортогональность функций Бесселя. Норма функции Бесселя. Рекуррентные соотношения для функций Бесселя. Оператор Лапласа в цилиндрических и сферических координатах. Применение функций Бесселя к решению задачи о колебаниях круглой мембраны (осевая симметрия).

### **Раздел 7. Интегральные преобразования.**

Двустороннее (комплексное) прямое и обратное преобразования Фурье. Вывод формулы Даламбера с помощью преобразования Фурье. Прямое и обратное синус преобразование Фурье. Прямое и обратное косинус преобразование Фурье. Примеры применения.

### **Раздел 8. Метод функций Грина для уравнений параболического типа.**

Определение функции Грина смешанной задачи для уравнения теплопроводности. Ее физический смысл. Решение смешанной задачи для параболического уравнения с помощью функции Грина. Построение функции Грина для ограниченной области. Примеры: задача об остывании шара, конвективный обмен на поверхности стержня. Нахождение функция Грина параболического уравнения для прямой и полупрямой с помощью интегральных преобразований. Построение функции Грина параболического уравнения для пространства любой размерности.

### **Раздел 9. Уравнения эллиптического типа.**

Уравнение Лапласа и уравнение Пуассона. Три рода краевых задач для уравнений эллиптического типа. Первая и вторая формулы Грина. Гармонические функции и их свойства. Функция Грина краевой задачи общего вида для уравнения Пуассона. Интегральное представление решения этой задачи. Интегральные представления решений задачи Дирихле и задачи Неймана для уравнения Пуассона. Метод электростатических



отображений построения функции Грина. Решения задач Дирихле для уравнения Лапласа в верхнем полупространстве и внутри шара. Решения внутренних и внешних краевых задач для круга разделением переменных. Внутренняя задача Дирихле для кольца. Свойства несобственных кратных интегралов, зависящих от параметров. Объемный и поверхностные потенциалы: определения и основные свойства. Гауссов потенциал. Применение потенциалов для решения краевых задач. Решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа внутри круга.

#### **Раздел 10. Понятие о нелинейных уравнениях математической физики.**

Классификация квазилинейных уравнений второго порядка. Характеристические поверхности. Канонический вид уравнений с двумя независимыми переменными. Пример. Уравнение Трикоми.

#### 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

#### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

##### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература

1. Тихонов А.М., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1969.
2. Арсенин В.Я. Методы математической физики и специальные функции. - М.: Наука, 1984.
3. Будак Б.М., Самарский А.А., Тихонов А.Н. Сборник задач по математической физике. - М.: Наука, 1980.

б) дополнительная литература:

1. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1976.
2. Бицадзе А.В. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1976.
3. Соболев С.Л. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1966.
4. Годунов С.К. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1979.
5. Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики. - М.: Наука, 1973.
6. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний. - М.: Наука, 1972.

#### 8. Вопросы для контроля

1. Каноническая форма записи дифференциальных уравнений в частных производных 2-го порядка с двумя независимыми переменными.
2. Корректность постановки задачи математической физики. Пример Адамара.
3. Вывод уравнения продольных колебаний стержня. Вывод граничных условий для стержня.
4. Вывод уравнения теплопроводности и граничных условий для стержня.
5. Вывод телеграфных уравнений.
6. Постановка задач для телеграфных уравнений.
7. Метод бегущих волн решения уравнений гиперболического типа. Формула Даламбера.
8. Фазовая плоскость. Нахождение формул решения задачи Коши с помощью фазовой плоскостью.
9. Решение неоднородной задачи для уравнения колебаний.
10. Метод продолжений для полуограниченной прямой и ограниченного отрезка.
11. Решение телеграфного уравнения для длинной линии без искажений методом Даламбера.
12. Решение задачи о колебаниях полуограниченного стержня с упругим закреплением на границе.

13. Задача о распространении граничного режима.
14. Метрическое пространство. Предел последовательности в метрическом пространстве. Фундаментальная последовательность. Полное метрическое пространство.
15. Линейное пространство над полем действительных чисел и над полем комплексных чисел.
16. Нормированное пространство. Сходимость в среднем. Банахово пространство.
17. Скалярное произведение. Гильбертово пространство. Ортонормированная система элементов в гильбертовом пространстве. Полная ортогональная система элементов.
18. Линейный оператор в гильбертовом пространстве. Симметричный оператор. Положительный оператор.
19. Собственные числа и собственные элементы линейного оператора. Свойства собственных чисел и собственных значений симметричного оператора.
20. Скалярное произведение и ортогональность двух непрерывных функций на сегменте  $[a, b]$ . Норма непрерывной функции.
21. Дифференциальные линейные операторы второго порядка.
22. Необходимое и достаточное условие симметричности дифференциального линейного оператора второго порядка.
23. Самосопряженная и несамосопряженная задачи на собственные значения и собственные функции дифференциального линейного оператора второго порядка.
24. Ортогональность функций с весом. Норма функции с весом.
25. Сведение несамосопряженной задачи к самосопряженной (отыскание весовой функции).
26. Задача Штурма-Лиувилля. Пример решения задачи Штурма-Лиувилля.
27. Свойства оператора Штурма-Лиувилля, его собственных чисел и собственных функций. Понятие кратного и простого собственного значения.
28. Экстремальные свойства собственных значений задачи Штурма-Лиувилля.
29. Теоремы сравнения для собственных значений задачи Штурма-Лиувилля.
30. Ряд Фурье по системе собственных функций задачи Штурма-Лиувилля. Частичная сумма ряда Фурье. Остаток ряда Фурье. Сходимость в среднем ряда Фурье.
31. Свойства остатка ряда Фурье.
32. Теорема Стеклова.
33. Метод Фурье решения однородных смешанных задач для уравнения гиперболического типа.
34. Задача о свободных колебаниях стержня со свободными концами. Анализ решения.
35. Решение смешанной задачи для волнового уравнения со стационарной неоднородностью.
36. Решение неоднородного волнового уравнения с нулевыми граничными и начальными условиями.
37. Общая схема метода Фурье.
38. Метод Фурье в многомерных задачах. Колебания прямоугольной мембраны.
39. Основные свойства гамма-функции.
40. Уравнение Бесселя. Отыскание решения уравнения Бесселя в виде обобщенного степенного ряда.
41. Функции Бесселя первого рода. Функции Бесселя целого порядка. Функции Неймана. Общее решение уравнения Бесселя.
42. Ортогональность функций Бесселя. Норма функции Бесселя.
43. Рекуррентные соотношения для функций Бесселя.
44. Колебания круглой мембраны (случай осевой симметрии).
45. Двустороннее (комплексное) прямое и обратное преобразования Фурье. Вывод формулы Даламбера с помощью преобразования Фурье.

46. Синус преобразование Фурье. Решение уравнения колебаний на полупрямой с закрепленным краем с помощью синус преобразования.
47. Косинус преобразование Фурье. Решение уравнения колебаний на полупрямой со свободным краем с помощью косинус преобразования.
48. Определение функции Грина смешанной задачи для гиперболического уравнения. Ее физический смысл. Определение функции Грина для всего пространства.
49. Формула решения смешанной задачи для гиперболического уравнения с помощью функции Грина.
50. Построение функции Грина волнового уравнения для ограниченной области.
51. Исследование явления резонанса с помощью функции Грина.
52. Определение функции Грина для уравнения теплопроводности. Ее физический смысл.
53. Формула решения смешанной задачи для уравнения теплопроводности с помощью функции Грина.
54. Построение функции Грина уравнения теплопроводности для ограниченной области.
55. Пример применения функции Грина уравнения теплопроводности: задача об остывания шара.
56. Пример применения функции Грина уравнения теплопроводности: конвективный теплообмен на поверхности ограниченного стержня. Провести анализ решения в двух случаях, когда стержень теплоизолирован с концов и когда концы поддерживаются при нулевой температуре.
57. Нахождение функции Грина уравнения теплопроводности на прямой с помощью интегрального преобразования.
58. Нахождение функции Грина уравнения теплопроводности на полупрямой методом продолжений.
59. Построение функции Грина уравнения теплопроводности для пространства любой размерности.
60. Уравнение Лапласа и уравнение Пуассона. Три рода краевых задач для уравнений эллиптического типа.
61. Первая и вторая формулы Грина.
62. Определение и свойства гармонических функций.
63. Теорема о максимуме и минимуме гармонической в области функции. Корректность постановки задачи Дирихле для уравнения Пуассона.
64. Интегральные представления решений первой и второй краевых задач для уравнения Пуассона.
65. Метод электростатических отображений построения функции Грина в эллиптических задачах.
66. Решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа в верхнем полупространстве методом электростатических отображений.
67. Решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа внутри шара методом электростатических отображений.
68. Метод разделения переменных в эллиптических задачах (на примере задачи Дирихле для уравнения Лапласа в круге).
69. Объемный потенциал и его свойства.
70. Потенциал простого слоя и его свойства.
71. Потенциал двойного слоя и его свойства. Гауссов потенциал.
72. Применение потенциалов для сведения краевых задач к интегральным уравнениям (задача Дирихле в верхнем полупространстве).

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса – формирование у студентов знаний по основам классической механики, как раздела теоретической физики. Задача курса – овладение методами лагранжевого и гамильтонового формализмов в приложении к базовым задачам макроскопической динамики точечных систем и твердого тела.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Теоретическая механика» относится к базовым дисциплинам профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате освоения дисциплины «Теоретическая механика» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать концептуальный и формульный аппарат (определение и содержание базовых понятий и принципов, основные соотношения и уравнения) классической механики;
- уметь получать и исследовать уравнения Лагранжа, Гамильтона и Гамильтона-Якоби для точечных систем и абсолютно твердого тела, отыскивать первые интегралы названных уравнений, включая интегралы обобщенной энергии и обобщенного импульса, исследовать движение частиц в центральном поле и малые колебания консервативных систем;
- иметь навыки применения методов классической механики к прикладным задачам радиофизики и электроники.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>4</b>
Аудиторные занятия	68	4
Лекции	34	4
Практические занятия (ПЗ)	334	4
Самостоятельная работа	40	4
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	4

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Принцип стационарного действия (принцип Гамильтона).	*	*	
2.	Движение материальной точки в центрально-симметричном поле.	*	*	
3.	Малые колебания потенциальных консервативных систем.	*	*	
4.	Движение твердого тела.	*	*	
5.	Канонический формализм.	*	*	
6.	Метод уравнений Гамильтона – Якоби.	*	*	
7.	Адиабатическая теория.	*	*	
8.	Механика систем со связями.	*	*	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### **Раздел 1. Принцип стационарного действия (принцип Гамильтона).**

Формулировка принципа Гамильтона. Уравнения Лагранжа. Лагранжиан свободной материальной точки. Системы с потенциальными и обобщенно-потенциальными силами. Сила Лоренца как обобщенно-потенциальная сила. Законы сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии. Уравнения Гамильтона. Первые интегралы уравнений Гамильтона. Скобки Пуассона.

### **Раздел 2. Движение материальной точки в центрально-симметричном поле.**

Интегрирование уравнений движения в центрально-симметричном поле. Задача двух тел. Задача Кеплера. Рассеяние частиц в поле центральной силы.

### **Раздел 3. Малые колебания потенциальных консервативных систем.**

Состояния равновесия механических систем и их устойчивость. Теорема Лагранжа об устойчивости потенциальных систем. Лагранжиан малых колебаний. Парциальные подсистемы. Нормальные частоты и нормальные координаты.

### **Раздел 4. Движение твердого тела.**

Задание положения твердого тела. Углы и соотношения Эйлера. Кинетическая энергия твердого тела (теорема Кенига). Тензор и эллипсоид инерции. Задача Лагранжа. Задача Эйлера.

### **Раздел 5. Канонический формализм.**

Канонические преобразования. Производящая функция канонических преобразований. Инвариантность скобок Пуассона относительно канонических преобразований. Бесконечно-малые канонические преобразования. Преобразования симметрии и интегралы движения гамильтоновых систем. Теорема Лиувилля. Уравнения Лиувилля.

### **Раздел 6. Метод уравнений Гамильтона – Якоби.**

Уравнение Гамильтона-Якоби. Полный интеграл и разделение переменных в уравнениях Гамильтона-Якоби. Характеристическая функция Гамильтона. Переменные действие-угол. Геометро-оптическая аналогия и волновая механика.

### **Раздел 7. Адиабатическая теория.**

Теория возмущений в системах с медленно меняющимися параметрами. Адиабатический инвариант.

## **Раздел 8. Механика систем со связями.**

Понятие о связях и их классификация. Виртуальные и возможные перемещения. Принцип Даламбера и уравнение Даламбера-Лагранжа. Вывод уравнений Лагранжа I и II рода. Диссипативные силы. Функция Рэлея.

### 6. Лабораторный практикум.

Не предусмотрен.

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Механика.-М.: Наука, 1988.
2. Голдстейн Г. Классическая механика.-М.: Наука, 1975.
3. Коткин Г. Л. Сербо В. Г. Сборник задач по классической механике. .-М.: Наука, 1977.

б) дополнительная литература:

1. Ольховский И.Н. Курс теоретической механики для физиков.-М.: Наука, 1970.
2. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике.-М.: Наука, 1966.
3. Арнольд В.И. Математические методы классической механики.-М.: Наука, 1979.

### 8. Вопросы для контроля

1. Формулировка принципа Гамильтона.
2. Уравнения Лагранжа обобщенно-потенциальных систем.
3. Функция Лагранжа материальной точки в поле тяжести. Функция Лагранжа заряженной частицы в электромагнитном поле. Функция Лагранжа сферического маятника. Функция Лагранжа гармонического осциллятора.
4. Законы изменения обобщенного импульса и обобщенной энергии для обобщенно-потенциальных и не потенциальных систем.
5. Циклические переменные и интегралы движения.
6. Определение обобщенно-потенциальной силы.
7. Уравнения Гамильтона. Основные законы сохранения.
8. Гамильтониан заряженной частицы в электромагнитном поле. Гамильтониан гармонического осциллятора.
9. Определение скобок Пуассона.
10. Выражение для скорости изменения произвольной функции на траекториях движения гамильтоновой системы.
11. Функция Лагранжа частицы в поле центральной силы.
12. Эффективный потенциал частицы в поле центральной силы.
13. Основные интегралы движения частицы в поле центральной силы.
14. Четыре режима движения в поле центральной силы.
15. Условия равновесия и устойчивость потенциальных консервативных систем.
16. Лагранжиан малых колебаний потенциальных консервативных систем.
17. Характеристическое уравнение для нормальных колебаний.
18. Углы и соотношения Эйлера.
19. Тензор инерции твердого тела.
20. Кинетическая энергия твердого тела (теорема Кенига) Запись кинетической энергии вращения и кинетического момента вращения через тензор инерции общего вида. Запись кинетической энергии вращения и кинетического момента вращения через тензор инерции, приведенный к главным осям.
21. Запись осевого момента через тензор инерции.
22. Четыре вида производящих функций (вместе с формулами преобразований)
23. Критерий каноничности преобразований.

24. Бесконечно-малые канонические преобразования (запись через производящую функцию).
25. Производящая функция основных преобразований симметрии ньютоновой механики.
26. Уравнения Гамильтона-Якоби. Полный интеграл в случае разделения переменных.
27. Отыскание закона движения с помощью полного интеграла уравнения Гамильтона-Якоби.
28. Полный интеграл уравнения Гамильтона-Якоби для консервативных систем. Укороченное уравнение Гамильтона-Якоби.
29. Переменные действие-угол: определение, отыскание частот периодических движений.
30. Виртуальная работа, обобщенная сила, определение идеальных связей.
31. Принцип Даламбера, общее уравнение динамики.
32. Определение гироскопических и диссипативных сил.
33. Уравнение Лагранжа II рода.
34. Функция Рэлея. Уравнение Лагранжа для диссипативных систем с вязким трением.



ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса – сформировать у студентов представления о квантовомеханических закономерностях, лежащих в основе современной физики и ее фундаментальных приложений.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Квантовая механика» относится к базовым дисциплинам профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин, а также курсов Электродинамики и Теоретической механики базовой части профессионального цикла.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Квантовая механика» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В процессе изучения курса студенты должны овладеть:

- основными принципами квантовой теории;
- методами решения квантовомеханических задач с использованием симметрии физических систем и наличия малого параметра;

обязаны знать:

- квантовую теорию гармонических колебаний;
- общую теорию момента количества движения, включая спиновый.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы 72 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>5</b>
Аудиторные занятия	34	5
Лекции	34	5
Самостоятельная работа	38	5
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	5

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Фундаментальные идеи квантовой физики. Принцип соответствия. Принципы-постулаты квантовой теории	12	7	
2.	Квантовая механика систем, имеющих классическую аналогию	4	4	
3.	Квантовая динамика. симметрия в физике и законы сохранения	8	8	
4.	Квантовая теория гармонических колебаний	4	7	
5.	Теория момента количества движения. Спин. Сложение двух квантовых моментов	8	8	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### 1. Фундаментальные идеи квантовой физики. Принцип соответствия.

Гипотеза квантов поля Макса Планка. Формула Планка. Законы отражения и преломления света с точки зрения гипотезы квантов. Измерения в квантовой физике. Поляризация фотонов.

Гипотеза Луи де Бройля. Волна де Бройля. Соотношения де Бройля. Упругое рассеяние волн-частиц на кристаллической решетке. Эквивалентность условия Лауэ и формулы Брэгга.

Корпускулярно-волновой дуализм. Статистический смысл волн материи (М.Борн).

Принцип соответствия. Универсальная постоянная Планка и соображения размерностей. Особенности классического предела квантовой теории. Условия применимости классической механики и классической теории поля. Соотношения неопределенностей.

### 2. Принципы-и постулаты квантовой теории.

Гильбертово пространство (математическое дополнение).

Особенности математической формы и физического содержания квантовой теории. Аксиомы гильбертова пространства. Скалярное произведение и его свойства. Операторы. Алгебра операторов. Определение сопряженных операторов. Собственные значения и собственные векторы операторов.

Постулат 1. Определение состояний квантовой системы векторами гильбертова пространства. Физический смысл определения состояния в квантовой теории. Гипотеза Луи де Бройля как вспомогательный постулат.

Постулат 2. Принцип суперпозиции квантовых состояний. Суперпозиция волн де Бройля.

Постулат 3. Постулат квантования: Определение физических величин линейными эрмитовскими операторами. Физический смысл собственных значений и собственных векторов операторов физических величин. Свойства собственных векторов и собственных значений:

а) действительность собственных значений эрмитовских операторов;

б) ортогональность собственных векторов, имеющих различные собственные значения.

Постулат 4. Теорема разложения. Суперпозиция собственных векторов оператора физической величины. Физический смысл коэффициентов разложения вектора состояния по собственным векторам физической величины. Свойство полноты собственных векторов физической величины. Вычисление вероятностей измерений и среднего

значения физической величины в произвольном квантовом состоянии (дискретный спектр).

Теория квантовых измерений. Квантовый статистический ансамбль. Свойства и особенности квантовых измерений. Примеры. Идеализированные эксперименты по измерению проекции спина электрона, поляризации фотона.

### **3. Квантовая механика систем, имеющих классическую аналогию.**

Правила квантования. Принцип классической аналогии (соответствия). Спектр собственных значений проекции координаты и импульса. Теорема разложения для физических величин с непрерывным спектром. Условия ортогональности и нормировки собственных векторов для физических величин с непрерывным спектром. Физический смысл коэффициентов разложения и среднее значение физической величины.

Координатное представление. Физический смысл и геометрическая интерпретация волновой функции (амплитуды вероятности). Оператор координаты в координатном представлении и его собственные функции. Собственный вектор оператора импульса в координатном представлении (гипотеза де Бройля). Оператор импульса в координатном представлении. Вычисление вероятностей измерения импульса в координатном представлении. Простейшие модели квантовых систем. Операторы основных физических величин в координатном представлении. Стационарное уравнение Шредингера. Уровни энергии и стационарные состояния в квантовой проволоке, бесконечно глубокой потенциальной яме.

Импульсное представление. Операторы импульса и координаты в импульсном представлении. Собственные функции операторов координаты и импульса в импульсном представлении. Формулы перехода от импульсного представления к координатному и обратно. Примеры состояний в импульсном и координатном представлениях.

Одновременная измеримость физических величин и соотношения неопределенностей. Физический смысл коммутативности операторов. Прямая и обратная теоремы. Полный набор физических величин. Примеры. Дисперсия физических величин. Принцип дополнительности Бора. Примеры. Соотношения неопределенностей для произвольных физических величин. Свойства и использования этого соотношения. Квантовая интерференция.

Классический электрон с квантовой точки зрения. Суперпозиция волн де Бройля. Волновой пакет. Уравнения движения для волнового пакета.

### **4. Квантовая динамика.**

Правила квантования Дирака. Некоторые свойства скобок Пуассона и коммутаторов физических величин. Принцип соответствия Дирака классических и квантовых скобок Пуассона.

Матричная механика. Матричное представление операторов и векторов состояний. Свойства матриц. Унитарные преобразования и их свойства.

Гейзенберговская картина движения. Физический смысл эволюции квантовой системы во времени. Уравнения Гейзенберга для операторов физических величин. Оператор эволюции во времени и его свойства.

Шредингеровская картина движения. Переход к шредингеровской картине движения. Уравнение Шредингера и его физический смысл. Общие свойства уравнения Шредингера. Закон сохранения плотности вероятности. Плотность тока вероятности. Предельный переход от квантовых уравнений к классическим. Теорема Эренфеста. Классический предел уравнения Шредингера и его физический смысл. Квазиклассическое приближение. Метод ВКБ. Правила квантования Бора-Зоммерфельда.

### **5. Симметрия в физике и законы сохранения.**

Преобразования симметрии. Условия симметрии. Законы сохранения в квантовой теории (интегралы движения). Их математическая формулировка и физический смысл. Симметрия квантовой системы (операторы симметрии) и законы сохранения. Генераторы бесконечно малых преобразований (при трансляции, вращении).

Стационарные состояния и их свойства. Стационарное уравнение Шредингера. Нестационарные состояния. Физический смысл законов сохранения в квантовой теории. Операторы бесконечно малого поворота и трансляции.

## **6. Квантовая теория гармонических колебаний.**

Частицы-кванты поля (развитие идеи корпускулярно-волнового дуализма). Эквивалентность нормальных волн (мод) электромагнитного поля и гармонических колебаний. Закон дисперсии мод кристаллической решетки (упругих волн) в кристалле.

Квантовая теория гармонических колебаний произвольной физической природы. Операторы рождения  $b^+$  и  $b$  уничтожения и их свойства. Спектр энергии гармонического осциллятора. Координатное представление. Полиномы Чебышева-Эрмита. Основное состояние и его свойства. Нулевые колебания. Электрон в постоянном однородном магнитном поле. Уровни Ландау.

## **7. Теория момента количества движения. Спин.**

Особенности момента импульса. Перестановочные соотношения, включающие операторы орбитального момента. Операторы проекций момента произвольной квантовой системы и их свойства. Следствие перестановочных соотношений для операторов момента (векторная модель). Свойства повышающих и понижающих операторов. Состояния с максимальной проекцией. Собственные значения квадрата момента и его проекции. Матричное представление операторов проекции моментов. Собственный момент импульса. Спин частиц. Полуцелый спин  $1/2$ . Матрицы Паули и их свойства. Описание состояния квантовой частицы с полуцелым спином. Полный набор с учетом спина. Вывод уравнения Паули. Магнитный момент электрона.

## **8. Сложение двух квантовых моментов.**

Операторы полного момента системы, состоящей из двух частей, их перестановочные соотношения и собственные значения. Два базиса собственных векторов, характеризующих момент всей системы. Коэффициенты Клебша-Гордана и их физический смысл. Теорема о сложении двух моментов. Максимальное и минимальное значение полного момента. Сложение двух спинов. Триплетное и синглетное состояния и их свойства относительно перестановки спинов. Коэффициенты Клебша-Гордана. Сложение орбитального момента и спина.

### **6. Лабораторный практикум.**

Не предусмотрен.

### **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

#### **7.1. Рекомендуемая литература:**

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. - М.: Наука. 1989 г.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. - М.: Наука, 1983 г.
3. Давыдов А.С. Квантовая механика. - М.: Наука. 1968 г.
4. Мессиа А. Квантовая механика. Т.1,2. - М.: Наука. 1978 г.

б) дополнительная литература:

1. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т.2. 1971 г.

2. Енютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. - М.: Наука. 1976 г.
3. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. ф.-м. 1960 г.
4. Бъеркен Дж.Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. Т.1. - М.: Наука. 1978 г.

8. Вопросы для контроля

1. Особенности законов сохранения в квантовой механике.
2. Теорема Блоха. Электронные спектры.
3. Статистика Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
4. Парагелий и ортогелий.
5. Молекула водорода.
6. Матрица плотности. Чистые и смешанные состояния.
7. Электрон в поле решетки.
8. Нестационарная теория возмущений. Квантовые переходы.
9. Квантовая теория химической связи.
10. Стационарное уравнение Дирака для электрона и его физический смысл.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины — развитие и углубление основ знаний студентов в области электромагнетизма, закладываемых при изучении курса общей физики.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Электродинамика» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 «Радиофизика».

Дисциплина «Электродинамика сплошных сред» базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика», «Методы математической физики» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Электродинамика» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В процессе изучения дисциплины студенты должны овладеть:

- знанием уравнений, описывающих электромагнитные явления, и вытекающих из этих уравнений основных закономерностей поведения электромагнитного поля;
- умением применять соответствующие уравнения и законы при решении конкретных электродинамических проблем.

### 4. Объём дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц 216 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>216</b>	<b>5</b>
Аудиторные занятия	102	5
Лекции	34	5
Практические занятия (ПЗ)	34	5
Самостоятельная работа	78	5
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	5

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий



№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Введение.	*		
2.	Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей.	*	*	
3.	Электростатика.	*	*	
4.	Постоянные токи.	*	*	
5.	Магнитостатика.	*	*	
6.	Переменные электромагнитные поля. Общее описание.	*		
7.	Электродинамика квазистационарных процессов.	*	*	
8.	Волны в однородных средах.	*	*	
9.	Волны в неоднородных изотропных средах.	*	*	
10.	Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде.	*	*	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Введение

1.1. Основные этапы развития теории электромагнитного поля. Общий характер построения читаемого курса.

1.2. Элементы векторного и тензорного исчисления (краткая сводка основных формул и понятий). Скалярные, векторные и тензорные величины. Дифференциальные операции первого и второго порядков. Дифференциально-векторные тождества. Интегральные теоремы. Криволинейные системы координат

### Раздел 2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей

2.1. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Понятие напряженностей электрического и магнитного полей, плотностей тока и заряда. Постулаты, связывающие электромагнитные явления с механическими (выражения для плотности энергии поля и силы Лоренца). Пределы применимости уравнений классической электродинамики.

2.2. Макроскопические уравнения Максвелла (в дифференциальной и интегральной формах) для поля в материальной среде как результат усреднения микроскопических уравнений классической электронной теории. Понятие векторов средних макроскопических напряженностей электрического и магнитного полей, электрической и магнитной поляризации и индукции.

2.3. Материальные уравнения для различных сред. Диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Сторонние источники. Понятие временной и пространственной дисперсии. Ток и поляризация как результат воздействия полей на среду и как источник этих полей.

2.4. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент векторов поля на произвольной поверхности. Понятие поверхностных зарядов и токов.

2.5. Важнейшие общие свойства уравнений Максвелла и их решений. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Линейность уравнений и принцип суперпозиции

решений. Обратимость уравнений во времени. Принцип перестановочной двойственности и магнитные источники.

2.6. Законы сохранения, следующие из уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга). Вектор Пойнтинга и понятие потока электромагнитной энергии. Плотность электромагнитной энергии в среде без дисперсии. Джоулевы потери. Закон сохранения импульса. Понятие плотности электромагнитного импульса и тензора натяжений для поля в вакууме.

2.7. Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.

2.8. Классификация основных типов электромагнитных явлений: электростатика, токостатика, магнитостатика, квазистационарные процессы, быстропеременные (волновые) поля.

### **Раздел 3. Электростатика**

3.1. Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Граничные условия для потенциала на поверхностях проводников и диэлектриков.

3.2. Некоторые общие теоремы электростатики. Теорема единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности. Классификация задач электростатики, прямые и обратные задачи.

3.3. Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды. Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Потенциал простого и двойного слоя. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Дипольный момент. Тензор квадрупольного момента.

3.4. Методы решения прямой задачи при наличии проводников и неоднородных диэлектриков (краевые задачи).

а) Конструктивные методы: металлизация эквипотенциальных поверхностей; метод изображений; метод заполнения диэлектриком.

б) Метод разделения переменных. Разделение переменных в уравнении Лапласа в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле.

в) Понятие о методе инверсии, методе конформных преобразований, методе возмущений.

3.5. Обратная задача электростатики.

3.6. Дискретное описание электростатических систем. Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Свойства потенциальных и емкостных коэффициентов. Понятие емкости. Электростатические цепи.

3.7. Энергия электростатического поля. Представление в виде интеграла по области источников. Собственная и взаимная энергия различных подсистем. Энергия взаимодействия внешнего поля с точечным зарядом и точечным диполем. Энергия системы проводников. Теорема Томсона о минимуме электростатической энергии.

3.8. Силы в электростатическом поле. Энергетический метод расчета обобщенных сил. Связь между вариацией энергии и работой сторонних сил в системе проводников с постоянными зарядами или постоянными потенциалами. Силы, действующие на заряд и диполь во внешнем поле; момент сил, действующих на диполь. Плотность силы, действующей на поверхность проводника. Объемная плотность силы в жидком диэлектрике. Случай линейной зависимости диэлектрической проницаемости от плотности вещества. Сведение объемных сил к поверхностным натяжениям. Тензор поверхностных натяжений в среде.

### **Раздел 4. Постоянные токи**

Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Понятие идеального электрода и идеального изолятора. Формальная

аналогия с электростатикой; примеры ее использования для решения токовых задач. Понятие сопротивления. Закон Джоуля-Ленца. Токи в квазилинейных проводниках. Законы Кирхгофа.

## **Раздел 5. Магнитостатика**

5.1. Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара.

5.2. Поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя.

5.3. Скалярный потенциал магнитного поля. Магнитный листок как эквивалент линейного контура с током. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями как проявление принципа двойственности. Конструктивные и прямые методы решения краевых задач магнитостатики, аналогичные электростатическим.

5.4. Поля, создаваемые намагниченными телами. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами. Магнитные цепи. Понятие магнитного сопротивления. Законы Кирхгофа для магнитных цепей.

5.5. Энергия и силы в магнитном поле. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Энергия системы квазилинейных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Сила, действующая на элемент квазилинейного контура с током. Сила и вращающий момент, действующие на магнитный диполь. Плотность объемной силы и тензор натяжений магнитного поля в среде.

## **Раздел 6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание**

6.1. Постановка задачи и различные приближения. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электромагнитных полей. Описание с помощью потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.

6.2. Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами. Возможность оперирования с произведением комплексных векторов. Комплексная теорема Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.

## **Раздел 7. Электродинамика квазистационарных процессов**

7.1. Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.

7.2. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики. Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.

## **Раздел 8. Волны в однородных средах**

8.1. Однородные и неоднородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Ориентация векторов электрического и магнитного поля. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс (волновое сопротивление). Плотность потока энергии в плоской волне. Плоские волны в поглощающей среде.

8.2. Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля в такой волне, длина волны, фазовая скорость, поперечный волновой импеданс, плотность потока энергии. Конструирование поля в волноводе и колебаний в

резонаторе из однородных плоских волн. Пример: волна типа  $TE_{10}$  в прямоугольном волноводе.

8.3. Электромагнитный волновой пучок. Представление в виде суперпозиции однородных плоских волн. Малоугловое (параксиальное) приближение (квазиоптический пучок). Зона геометрической оптики (прожекторная зона). Зона Френеля и диффузионная зона. Уравнение поперечной диффузии (параболическое уравнение) для амплитуды волнового пучка и его решение. Пример: пучок с гауссовым распределением амплитуды. Зона Фраунгофера.

8.4. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Квазимонохроматические процессы. Энергия монохроматического поля в среде с временной дисперсией. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость и скорость энергии. Диффузионное уравнение для огибающей импульса. Расплывание импульса. Пример: колоколообразный импульс, описываемый функцией Гаусса.

8.5. Общее представление о средах с более сложными электродинамическими характеристиками.

## **Раздел 9. Волны в неоднородных изотропных средах**

9.1. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух сред (формулы Френеля). Нормальное падение. Выражение коэффициента отражения через поперечные волновые импедансы. Формула пересчета импеданса. Использование ее для отыскания коэффициента отражения от плоскопараллельной пластинки. Наклонное падение. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении. Отражение от хорошо проводящей поверхности и условие Леонтовича.

9.2. Волны в среде с непрерывно изменяющимися параметрами. Волновые уравнения для векторов поля. Случай плоскостной среды. Уравнения, описывающие волны  $TE$  и  $TM$  – типов. Плоские волны в плоскостной среде с плавно меняющимися параметрами. ВКБ приближение.

9.3. Лучевое описание поля в плавнонеоднородных средах. Переход от уравнений Максвелла к уравнениям геометрической оптики. Уравнение эйконала. Лучи и лучевые трубки. Дифференциальное уравнение луча. Изменение интенсивности вдоль лучевой трубки. Пример: плоская волна в плоскостной среде.

## **Раздел 10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде**

10.1. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников. Условие излучения.

10.2. Простейшая излучающая система - элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения, структура поля в квазистатической и волновой зонах. Диаграмма направленности; сопротивление излучения. Поле магнитного диполя (с использованием принципа двойственности).

10.3. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения как пространственная Фурье-гармоника плотности тока. Основные характеристики направленности излучающей системы.

### 6. Лабораторный практикум

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	7	Электромагнитное экранирование

2.	8	Замедляющие системы
3.	10	Рупорная антенна
4.	10	Спиральная волноводно-щелевая антенна с частотным качанием луча

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

#### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература

##### а) основная литература

1. Никольский В.В., Никольская Т.Н. *Электродинамика и распространение радиоволн*. М., Наука, 1989, 544 с.
2. Вайнштейн Л.А. *Электромагнитные волны*. М.: Радио и связь, 1988, 440 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред*. М.: Наука, 1992, 664 с.
4. Баскаков С.И. *Основы электродинамики*. М.: Советское радио, 1973, 248 с.
5. Гольдштейн Л.Д., Зернов П.В. *Электромагнитные поля и волны*. М.: Советское радио, 1971, 664 с.
6. Тамм И.Е. *Основы теории электричества*. М., Наука, 1989, 504 с.
7. Гильденбург В.Б., Миллер М.А. *Сборник задач по электродинамике*. М.: Физматлит, 2001, 168 с.

##### б) дополнительная литература:

1. Джексон Дж. *Классическая электродинамика*. М.: Мир, 1965, 704 с.
2. Пановский В., Филипс М. *Классическая электродинамика*. М.: ГИФМЛ, 1963, 432 с.
3. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. *Электродинамика*. М.: Высшая школа, 1990, 352 с.
4. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. *Сборник задач по электродинамике*. М.: Наука, 1970, 504 с.

#### 8. Вопросы для контроля

1. Запись основных дифференциальных операций векторного анализа (градиент, дивергенция, ротор, лапласиан) с помощью оператора “набла” и в декартовых координатах.
2. Уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.
3. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент полей в общем случае.
4. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности) в дифференциальной и интегральной формах.
5. Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга) в дифференциальной и интегральной формах.
6. Уравнение Максвелла в комплексной форме; комплексная диэлектрическая проницаемость.
7. Скин-эффект; толщина скин-слоя (глубина проникновения тока и поля в проводник).
8. Запись выражений для плоской волны в векторной форме и в проекциях на оси декартовой системы координат.
9. Дисперсионное уравнение для однородной плоской волны.
10. Определение фазовой и групповой скорости.
11. Законы отражения и преломления на плоской границе раздела двух сред (законы Снелля).
12. Формулы Френеля в случае нормального падения.
13. Общее выражение для векторного потенциала заданного распределения произвольных во времени и гармонических токов.
14. Выражение для векторного потенциала заданного распределения гармонических токов в зоне Фраунгофера.

15. Поле элементарного электрического диполя в квазистатической зоне.
16. Поле элементарного электрического диполя в волновой зоне.
17. Диаграмма направленности излучения (по мощности).

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса - сформировать у студентов современное представление об основных методах статистического и термодинамического (феноменологического) описания свойств равновесных и неравновесных макроскопических систем, состоящих из большого числа частиц.

Законы, модели и уравнения, рассмотренные в лекционном курсе, используются на практических занятиях для обучения студентов методам теоретического расчета на примерах простейших термодинамических систем. Одной из важных задач лекционного курса и практических занятий является демонстрация неразрывной связи двух методов описания макроскопических систем - статистического и термодинамического.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Термодинамика и статистическая физика» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В результате изучения студенты должны:

- знать основные классические статистические распределения для равновесных систем, основные постулаты термодинамического (феноменологического) описания равновесного состояния макроскопических систем, основные квантовые статистические распределения.
- уметь выводить основные общие соотношения между термодинамическими величинами, рассчитывать важнейшие статистические характеристики простейших макроскопических систем.
- иметь представление о свойствах необратимых процессов приближения к термодинамическому равновесию и условиях равновесия и устойчивости термодинамических систем; о методах расчета флуктуаций в равновесных системах

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы 72 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>6</b>
Аудиторные занятия	34	6
Лекции	34	6



Самостоятельная работа	38	6
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	6

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Введение.	*		
2.	Основы классической статистики.	*		
3.	Термодинамическое описание равновесных систем.	*		
4.	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем.	*		
5.	Фазовые переходы.	*		
6.	Распределение Максвелла-Больцмана.	*		
7.	Флуктуации в равновесных системах	*		
8.	Основы квантовой статистики	*		
9.	Квантовая статистика невзаимодействующих тождественных частиц	*		

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### 1. Введение.

#### 2. Основы классической статистики.

Фазовое пространство. Функция статистического распределения. Ансамбль Гиббса. Уравнение Лиувилля. Равновесный статистический ансамбль. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Связь между микроканоническим и каноническим распределениями. Статистическое определение энтропии равновесной системы.

#### 3. Термодинамическое описание равновесных систем.

Изменение состояния. Процесс. Свойства теплоизолированных процессов. Первый принцип термодинамики. Нулевое начало термодинамики. Температура. Теплоемкость. Политропические процессы. Второй принцип термодинамики. Его статистическое обоснование. Термодинамическое определение энтропии. Свободная энергия. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Классическая теория теплоемкостей. Некоторые следствия принципов термодинамики. Характеристические функции. Соотношения между производными от термодинамических величин. Термодинамическая шкала температур. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Магнитное охлаждение. Связь энтропии с вероятностью. Принцип возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса. Превращение тепла в работу. Цикл Карно. Теоремы Карно. Расширение газа в пустоту. Выравнивание температур при теплообмене. Встречная диффузия газов. Парадокс Гиббса. Процесс Джоуля-Томсона. Термодинамика систем с переменным числом частиц. Функция распределения для системы с переменным числом частиц в термостате.

#### 4. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем.

Устойчивость изолированной системы. Закрытая система в термостате. Устойчивость системы с переменным числом частиц. Устойчивость тела во внешней среде. Условия

равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Правило фаз Гиббса. Критическая точка.

#### **5. Фазовые переходы.**

Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Метастабильные состояния. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау.

#### **6. Распределение Максвелла-Больцмана.**

Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана для идеального газа.

#### **7. Флуктуации в равновесных системах.**

Статистический расчет флуктуаций энергии и числа частиц. Квазитермодинамическая теория равновесных флуктуаций. Принцип Больцмана.

#### **8. Основы квантовой статистики.**

Чистые и смешанные состояния. Статистическая матрица (матрица плотности). Уравнение движения для матрицы плотности. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Статистическая сумма. Свободная энергия. Энтропия. Средняя энергия квантового осциллятора. Равновесное излучение. Формула Планка. Тело в равновесии с излучением. Закон Кирхгофа. Эффективная температура излучения. Квантовая теория теплоемкости идеальных газов. Квантовая теория теплоемкости твердого тела. Третье начало термодинамики. Принцип Нернста. Недостижимость абсолютного нуля температуры.

#### **9. Квантовая статистика невзаимодействующих тождественных частиц.**

Большое каноническое распределение. Распределение Бозе и Ферми. Квазиклассическое приближение. Температура вырождения. Тепловая ионизация атомов. Уравнение состояния квантового идеального газа из элементарных частиц. Вырожденный бозе-газ. Фотонный газ. Вырожденный ферми-газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа в металлах. Слабая термоэлектронная эмиссия.

#### **6. Лабораторный практикум**

Не предусмотрен.

#### **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

##### **7.1. Рекомендуемая литература.**

###### **а) основная литература:**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика*. Ч.I.M. Наука, 1976, 584 стр.
2. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. *Термодинамика, статистическая физика и кинетика*. М. Наука, 1977, 552 стр.
3. Базаров И.П. *Термодинамика*. М. Высшая школа, 1991, 343 стр.
4. Терлецкий Я.П. *Статистическая физика*. М. Высшая школа, 1994, 280 стр.
5. Климонтович Ю.Л. *Статистическая физика*. М. Наука, 1982, 608 стр.
6. Ансельм А.И. *Основы статистической физики и термодинамики*. М. Наука, 1973, 424 стр.
7. Леонтович М.А. *Введение в термодинамику. Статистическая физика*. М. Наука, 1983, 416 стр.

###### **б) дополнительная литература:**

1. Левич В.Г. *Курс теоретической физики*. Т.I. М.: Наука, 1969, 912 стр.
2. Зубарев Д.Н. *Неравновесная статистическая термодинамика*. М.: Наука, 1971, 416 стр.

3. Куни Ф.М. *Статистическая физика и термодинамика*. М.: Наука, 1981, 352 стр.

8. Вопросы для контроля

1. Ансамбль Гиббса. Уравнение Лиувилля.
2. Микроканоническое распределение для изолированной системы.
3. Каноническое распределение для системы в термостате.
4. Сравнение микроканонического и канонического распределений.
5. Энтропия равновесной системы.
6. Первый принцип термодинамики. Внутренняя энергия.
7. Нулевое начало термодинамики. Температура.
8. Теплоемкость. Политропические процессы.
9. Второй принцип термодинамики. Его статистическое обоснование.
10. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы.
11. Классическая теория теплоемкостей идеального газа и твердого тела.
12. Соотношение между  $c_p$  и  $c_v$ .
13. Характеристические функции  $F, \Phi, I$ .
14. Магнитокалорический эффект.
15. Принцип возрастания энтропии.
16. Неравенство Клаузиуса. Превращение тепла в работу.
17. Расширение газа в пустоту. Выравнивание температур.
18. Встречная диффузия двух газов. Парадокс Гиббса.
19. Процесс Джоуля-Томсона.
20. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал.
21. Большое каноническое распределение для системы с переменным числом частиц в термостате.
22. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем.
23. Равновесие тела во внешней среде.
24. Распределение Максвелла.
25. Распределение Больцмана.
26. Фазовое пространство. Функция статистического распределения.
27. Ансамбль Гиббса. Уравнение Лиувилля. Равновесный ансамбль.
28. Микроканоническое распределение.
29. Классическое каноническое распределение Гиббса.
30. Функция распределения для энергии. Сравнение микроканонического и канонического распределений.
31. Статистическое определение энтропии равновесной системы.
32. Свойства теплоизолированных процессов. Внутренняя энергия.
33. Первый принцип термодинамики.
34. Нулевое начало термодинамики. Температура.
35. Теплоемкость. Политропические процессы.
36. . Второй принцип термодинамики. Термодинамическое определение энтропии.
37. Статистическое обоснование второго принципа термодинамики.
38. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале.
39. Классическая теория теплоемкостей идеального газа и твердого тела.
40. Некоторые следствия принципов термодинамики. Соотношение между  $c_p$  и  $c_v$ .
41. Характеристические функции  $F, \Phi, I$ .
42. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса.
43. Магнитное охлаждение.
44. Связь энтропии с вероятностью. Принцип возрастания энтропии.
45. Неравенство Клаузиуса. Превращение тепла в работу.
46. Расширение газа в пустоту. Процесс Джоуля-Томсона.

47. Встречная диффузия газов. Парадокс Гиббса.
48. Аддитивность энтропии идеального газа.
49. Термодинамика систем с переменным числом частиц.
50. Функция распределения для системы с переменным числом частиц в термостате.
51. Устойчивость закрытой системы в термостате при  $V=\text{const}$ .
52. Равновесие тела во внешней среде.
53. . Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
54. Правило фаз Гиббса.
55. Фазовые переходы первого рода.
56. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Метастабильные состояния.
57. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау.
58. Распределение Максвелла-Больцмана.
59. Статистический расчет флуктуаций энергии и числа частиц.
60. Принцип Больцмана. Квазитермодинамическая теория равновесных флуктуаций.
61. Квантовое каноническое распределение.
62. Свободная энергия и энтропия в квантовой статистике.
63. Средняя энергия квантового осциллятора.
64. Равновесное излучение. Формула Планка.
65. .Тело в равновесии с излучением. Закон Кирхгофа. Эффективная температура излучения.
66. Квантовая теория теплоемкости идеальных газов.
67. .Дебаевская теория теплоемкости твердого тела.
68. Третье начало термодинамики.
69. Распределение Бозе.
70. Распределение Ферми.
71. . Квазиклассическое приближение. Температура вырождения.
72. Тепловая ионизация атомов. Формула Саха.
73. Уравнение состояния квантового идеального газа из элементарных частиц.
74. Вырожденный бозе-газ.
75. . Фотонный газ.
76. Вырожденный ферми-газ при  $T \rightarrow 0$ .
77. Теплоемкость вырожденного электронного газа в металлах.
78. Внутренняя энергия, энтропия и давление электронного газа в металлах.
79. Слабая термоэлектронная эмиссия.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Колебательные и волновые процессы являются предметом исследования специалистов в самых различных областях науки и техники (радиофизика, механика, радиотехника, акустика, электроника и т.д.) Конкретные системы, с которыми приходится иметь дело специалистам в этих областях, совершенно различны, однако, колебательно-волновые явления и процессы, в них происходящие, подчиняются общим закономерностям и описываются едиными колебательными моделями. Такое единство позволяет существенно глубже разобраться в сути явлений в каждой конкретной ситуации и, кроме того, воспользоваться опытом, накопленным при изучении, например, в механических системах, при анализе радиофизических систем.

Изучение основных моделей колебательно-волновых явлений и процессов, их приложение к конкретным физическим (техническим) ситуациям, и развитие общих методов исследования подобных явлений, независимо от их конкретной природы, и составляет предмет теории колебаний.

Цель курса – показать студентам, как можно распознавать в сложных, на первый взгляд, колебательно-волновых процессах в конкретных задачах физики или техники основные - элементарные колебательные явления и свести исходную проблему к анализу этих моделей, достичь понимания студентами основных колебательно-волновых явлений на простых моделях и системах, познакомить студентов и научить их пользоваться основными методами теории колебаний.

Задачи дисциплины:

- ознакомить с базовыми идеями и подходами теории колебаний, как науки об эволюционных процессах;
- дать понятие об основных методах теории колебаний;
- выработать навыки по построению и исследованию колебательно-волновых систем.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Теория колебаний» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Теория колебаний» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В результате изучения дисциплины студенты должны освоить:

- динамику систем на прямой;
- колебания и волны в линейных системах;
- колебания и волны в линейных упорядоченных структурах;
- устойчивость сосредоточенных и распределенных систем;
- колебания и автоколебания в нелинейных системах с одной степенью свободы;
- основные бифуркации систем на плоскости.

Уметь:

- использовать методы теории колебаний для изучения колебательно-волновых режимов.

Иметь навыки:

- построения фазовых портретов консервативных и автоколебательных систем на плоскости;
- исследования волновых режимов в линейных распределенных системах.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы 108 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>108</b>	<b>5</b>
Аудиторные занятия	51	5
Лекции	34	5
Практические занятия (ПЗ)	17	5
Самостоятельная работа	57	5
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	5

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Базовые идеи и подходы теории колебаний	*		
2	Основные методы теории колебаний	*		
3	Исследование базовых моделей теории колебаний	*	*	

Содержание разделов дисциплины

##### **Раздел 1. Базовые идеи и подходы теории колебаний**

**1.1.** Историческое введение, формулировка предмета и содержания теории колебаний. Понятие динамической системы и фазового пространства, системы с непрерывным и дискретным временем, грубой динамической системы.

**1.2.** Динамические системы на прямой. Грубые состояния равновесия. Основные бифуркации.

##### **Раздел 2. Основные методы теории колебаний**

**2.1. Устойчивость линеаризованных сосредоточенных систем с непрерывным и дискретным временем**

Сведение задачи к оценке расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Классификация типов состояний равновесия (особых точек) в системах второго и третьего порядка; исследование их устойчивости. Простейшие динамические системы с дискретным временем. Отображение Пуанкаре. Классификация неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений.

## **2.2. Колебания в нелинейных системах с одной степенью свободы**

Линейный и нелинейный осцилляторы. Фазовый портрет. Резонанс в нелинейном осцилляторе. Основы качественной теории и теории бифуркаций динамических систем на плоскости. Грубые предельные циклы, основные характеристики. Основные (коразмерности 1) бифуркации динамических систем на плоскости: двукратное равновесие, нейтральное равновесие (бифуркация Андронова-Хопфа), двукратный предельный цикл, петля сепаратрисы седла и седло-узла, сепаратрисная связка.

## **2.3. Автоколебательные системы**

Система с одной степенью свободы. Физические примеры. Метод разрывных колебаний. Метод Ван-дер-Поля (автономный и неавтономный случаи). Связанные автогенераторы. Явление захватывания, определение полосы синхронизации. Конкуренция колебаний в многомодовых автогенераторах.

## **2.4. Колебания и волны в упорядоченных структурах**

Дисперсионные уравнения для цепочек связанных осцилляторов. Физический смысл понятия "дисперсия". Переход от дискретных структур к распределенным. Фазовая и групповая скорости, распространение волнового пакета. Характеристические уравнения ограниченных распределенных систем.

## **Раздел 3. Исследование базовых моделей теории колебаний**

Динамика сверхпроводящего Джозефсоновского контакта и маятника в вязкой среде. Исследование уравнений Ван-дер-Поля и Рэлея. Конкуренция колебаний в многомодовых автогенераторах.

### **5.3 Перечень тем практических занятий**

1. Знакомство с аппаратом фазового пространства. Понятие о грубых и негрубых динамических системах (на примере систем на прямой). Исследование систем на прямой.
2. Исследование грубых состояний равновесия на фазовой плоскости и в трехмерном пространстве. Линеаризация и составление характеристических уравнений.
3. Методы определения устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем. Метод Гурвица.
4. Знакомство с методом точечных преобразований. Исследование грубых неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений.
5. Нелинейный осциллятор. Построение фазового портрета.

### **6. Лабораторный практикум.**

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	3	Фильтры
2	3	Фазовая плоскость

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

### **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

#### **7.1. Рекомендуемая литература.**

- а) основная литература:



1. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. Теория колебаний, -М.: Физматгаз, 1959, (-М.: Наука, 1981).
2. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. -М.: Наука, 1984 (1 изд.), 1992 (2 изд.), 2002 (3 изд.).
3. Сборник задач по теории колебаний. Под ред. В.И. Королева, Л.В. Постникова, -М.: Наука, 1978.
4. Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев. Введение в теорию нелинейных колебаний. -М.: Наука, 1987.

б) дополнительная литература:

1. Н.Н. Боголюбов, Ю.И. Митропольский. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. -М.: Наука, 1974.
2. М.И. Рабинович. Теория колебаний и волн. Учебное пособие. Горький, Изд-во ГГУ, 1977.
3. М.И. Рабинович, М.И. Мотова, Т.М. Тарантович. Колебания и волны в нелинейных системах. Учебное пособие. Горький, Изд-во ГГУ, 1978.

#### 8. Вопросы для контроля

1. Определение грубой (структурно-устойчивой) системы на фазовой плоскости.
2. Определение состояния равновесия и предельного цикла на фазовой плоскости.
3. Отображение Пуанкаре.
4. Двукратное и нейтральное равновесия на фазовой плоскости.
5. Двукратный предельный цикл. Определение и основные свойства.
6. Петля сепаратрисы седла и седло-узла. Определение и основные свойства.
7. Автоколебания. Определение и основные свойства.
8. Построение фазового портрета двумерных систем методом Ван-дер-Поля и разрывных колебаний.
9. Дисперсия волн и диспергирующая среда.
10. Построение вольт-амперной характеристики Джозефсоновского контакта.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ФИЗИКА СПЛОШНЫХ СРЕД**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины направлено на ознакомление студентов с основными физическими явлениями, изучаемыми механикой сплошных сред, и, до известной степени, с элементами используемого ею математического аппарата. Основное внимание при чтении лекций и проведении практических занятий уделяется наглядной интерпретации задач, при использовании максимально простых средств их решения.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Физика сплошных сред» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 «Радиофизика».

Дисциплина «Физика сплошных сред» базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Физика сплошных сред» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В результате изучения студенты должны:

Знать основные уравнения и теоремы механики сплошных сред;

Уметь самостоятельно решать элементарные задачи, относящиеся к обтеканию тел, волновым процессам, эволюции вихрей, течениям идеальной и вязкой несжимаемой жидкости;

Иметь навыки получения несложных оценок применительно к реальным физическим ситуациям.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>6</b>
Аудиторные занятия	68	6
Лекции	34	6
Практические занятия (ПЗ)	34	6
Самостоятельная работа	40	6
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	6

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Введение	*		
2	Основные законы гидродинамики идеальной жидкости	*	*	
3	Движение вязкой несжимаемой жидкости	*	*	
4	Элементы теории турбулентности	*		
5	Движение сжимаемой жидкости (газа)	*	*	
6	Обзор современных направлений в механике сплошных сред	*		

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### 1. Введение

Понятие о сплошной среде. Классификация задач, рассматриваемых в курсе. Жидкости, газы, твердые тела. Уравнение состояния.

#### 2. Основные законы гидродинамики идеальной жидкости

2.1. Эйлеров и Лагранжев способы задания движения жидкости. Переход от одного описания к другому. Система основных уравнений гидродинамики идеальной жидкости (газа): уравнение непрерывности, уравнение Эйлера, полнота системы уравнений. Энергия и импульс жидкости.

2.2. Гидростатика. Условия гидростатического равновесия. Частота Брента-Вейсяля. Барометрическая формула.

2.3. Теорема Бернулли и закон сохранения энергии. Примеры применения теоремы Бернулли.

2.4. Потенциальное и вихревое движение жидкости. Циркуляция скорости. Теорема Томсона и теоремы Гельмгольца.

2.5. Потенциальное течение жидкости. Система уравнений гидродинамики для потенциального движения несжимаемой жидкости. Уравнение Лапласа. Гидродинамические мультиполи. Обтекание шара потенциальным потоком. Понятие присоединенной массы. Парадокс Д'Аламбера. Сила сопротивления при потенциальном обтекании.

2.6. Двумерные потенциальные течения. Функция тока и комплексный потенциал. Стационарное обтекание кругового цилиндра.

2.7. Вихри в идеальной жидкости. Плоское сдвиговое течение, точечные вихри, вихревая дорожка Кармана. Присоединенный вихрь и подъемная сила. Формула Жуковского.

2.8. Волны в несжимаемой жидкости. Поверхностные гравитационные волны: волны на глубокой воде ("короткие"), волны на мелкой воде ("длинные"), гравитационно-капиллярные волны.

#### 3. Движение вязкой несжимаемой жидкости

3.1. Уравнение гидродинамики вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Коэффициент вязкости и вязкие напряжения, вязкие силы.

3.2. Примеры простейших течений вязкой жидкости: течения Куэтта и Пуазейля с плоской и круговой симметрией. Диффузия вихрей.

3.3. Принцип подобия и число Рейнольдса. Обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости. Формула Стокса.

3.4. Пограничный слой. Уравнения Прандтля. Ламинарный след. Вязкие волны.

#### 4. Элементы теории турбулентности

4.1. Устойчивость стационарного движения жидкости. Примеры неустойчивых течений: неустойчивость тангенциального разрыва, течение Куэтта между двумя коаксиальными цилиндрами.

4.2. Переход ламинарного течения в турбулентное. Развитая турбулентность. Закон Колмогорова-Обухова. Турбулентный след. Турбулентный пограничный слой.

#### 5. Движение сжимаемой жидкости (газа)

5.1. Основные уравнения гидродинамики сжимаемой жидкости. Звуковые волны. Энергия и импульс звуковых волн.

5.2. Волны конечной амплитуды. Нелинейная акустика. Простые волны и инварианты Римана. Сверхзвуковые волны. Конус Маха. Ударные волны.

#### 6. Обзор современных направлений в механике сплошных сред

##### 6. Лабораторный практикум

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Исследование поперечных колебаний пластин.
2	1	Колебания механических систем с распределенными параметрами: продольные колебания стержней.
3	5	Исследование акустического поля в однородной среде с плоской границей
4	5	Принцип взаимности и его применение в акустических измерениях

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

##### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

###### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика, т. 6. Гидродинамика*. М: Наука, 1986 – 733 с.
2. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. *Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн)*. М.: Наука, 1982. - 335 с.
3. Островский Л.А. *Вопросы динамики жидкости*. Учебное пособие. Горький, ГГУ, 1982. – 145 с.
4. Курин В.В., Островский Л.А., Прончатов-Рубцов Н.В. *Сборник вопросов и задач по механике сплошных сред: гидромеханика*. Горький, ГГУ, 1989. – 48 с.
5. Седов Л.И. *Механика сплошных сред*. В 2-х т. М: Наука, 1973.
6. *Акустика в задачах*. Учеб. рук-во. / Под ред. С.Н.Гурбатова и О.В.Руденко. М.: Наука, 1996. - 336 с.

б) дополнительная литература:

1. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Феймановские лекции по физике, т. 7. Физика сплошных сред*. М: Мир, 1967.
2. Бэтчелор Д. *Введение в динамику жидкости*. М: Наука, 1973.
3. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. М: Наука, 1973.
4. Лайтхилл Д. *Волны в жидкостях*. М: Мир, 1981.

##### 8. Вопросы для контроля

1. Уравнение неразрывности для сжимаемой и несжимаемой жидкости.

2. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера).
3. Закон сохранения энергии. Поток энергии.
4. Закон сохранения импульса. Тензор плотности потока импульса.
5. Уравнение гидростатики.
6. Теорема Бернулли для стационарного и нестационарного случая.
7. Парадокс Даламбера-Эйлера.
8. Сила сопротивления при неравномерном движении. Понятие присоединенной массы.
9. Функция тока и комплексный потенциал.
10. Формула Жуковского для подъемной силы.
11. Теорема Томсона о циркуляции.
12. Элементарные вихревые движения и их взаимодействия.
13. Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (уравнение Навье-Стокса).
14. Тензор вязких напряжений.
15. Граничные условия на поверхности тела, обтекаемого потоком идеальной или вязкой жидкости.
16. Течения Куэтта и Пуазейля с плоской и круговой симметрией.
17. Вязкие волны. Понятие скин-слоя.
18. Числа Рейнольдса, Фруда, Струхала и их физический смысл.
19. Движение тел в вязкой среде при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса
20. Основные уравнения гидродинамики сжимаемой жидкости в линейном приближении.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса – сформировать у студентов современное представление об основных понятиях и закономерностях электромагнитных волновых процессов, а также в волновых процессах в других областях физики.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Распространение электромагнитных волн» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина относится к дисциплинам специализации образовательной программы по направлению 010800 «Радиофизика». Курс «Распространение электромагнитных волн» базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика», «Методы математической физики» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин, дисциплине «Электродинамика» базовой части цикла профессиональных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Распространение электромагнитных волн» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В процессе изучения дисциплины студенты должны овладеть:

- основным математическим аппаратом теории волновых процессов;
- основными законами распространения электромагнитных волн в различных средах;
- умением самостоятельно решать типовые задачи теории излучения, распространения и приема волн;
- иметь навыки построения математических моделей волновых процессов в различных областях естествознания.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы 108 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>108</b>	<b>8</b>
Аудиторные занятия	45	8
Лекции	30	8
Практические занятия (ПЗ)	15	8
Самостоятельная работа	27	8
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	8



## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Введение	*	-	-
2.	Методы решения задач линейной теории волновых процессов	*	*	-
3.	Сплошные среды	*	-	-
4.	Электромагнитные поля в сплошных средах	*	*	-
5.	Электромагнитные волны в анизотропных средах	*	*	-
6.	Электромагнитные волны в однородной изотропной плазме	*	*	-
7.	Электромагнитные волны в холодной магнитоактивной плазме	*	*	-
8.	Электромагнитные волны в неоднородных средах	*	-	-
9.	Волны в жидкостях, газах и упругих телах. Аналогии в задачах о распространении волн различной физической природы	*	*	-

### 5.2. Содержание разделов дисциплины.

#### Раздел 1. Введение

Физические поля и волны. Перенос волнами энергии и информации. Теория волновых процессов и уравнения математической физики (уравнения потенциала, теплопроводности, волновое уравнение и уравнение Клейна-Гордона). Монохроматическое поле. Комплексная форма записи монохроматического поля. Уравнение Гельмгольца. Плоские, цилиндрические и сферические монохроматические волны. Фазовая скорость. Энергетические характеристики волн.

#### Раздел 2. Методы решения задач линейной теории волновых процессов

Принцип суперпозиции для линейных операторов. Постановка задач линейной теории волн. Задача об излучении заданных источников, расположенных в ограниченной области пространства. Условие излучения Зоммерфельда и принцип предельного поглощения. Применение преобразования Фурье для решения линейных уравнений математической физики. Многократные преобразования Фурье как разложение физических полей по плоским волнам. Дисперсионное уравнение. Начальная задача. Понятие о нормальных волнах в средах. Граничная задача. Функции Грина для основных уравнений математической физики и их связь с преобразованиями Фурье. Групповая скорость.

#### Раздел 3. Сплошные среды

Гипотеза сплошной среды и физические поля в средах. Физические бесконечно малые объемы и интервалы времени. Усреднение по ансамблям, по координатам и по времени. Эргодическая гипотеза. Физико-химические свойства газов, жидкостей, твердых тел и плазмы.

#### Раздел 4. Электромагнитные поля в сплошных средах

Электромагнитные поля  $\vec{E}, \vec{B}, \vec{H}$  и  $\vec{D}$ . Электрические токи свободных и связанных зарядов - токи проводимости, токи электрической поляризации атомов среды и токи намагничивания в среде. Уравнения Максвелла с полным током в среде и сторонними электрическими токами. Электромагнитные поля и волны в среде с постоянными  $\epsilon, \mu$  и  $\sigma$ . Скин-эффект. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Абсолютный комплексный показатель преломления однородной среды.

### **Раздел 5. Электромагнитные волны в анизотропных средах**

Диэлектрическая проницаемость кристаллов. Плоские волны в анизотропной среде. Уравнение Френеля. Оптические свойства одноосных и двухосных кристаллов. Поверхность волновых векторов и лучевая поверхность. Эффект Керра.

### **Раздел 6. Электромагнитные волны в однородной изотропной плазме**

Введение в физику плазмы. Способы получения плазмы. Квазинейтральность плазмы. Плазма в космическом пространстве, лабораторная плазма. Дебаевское экранирование электрических зарядов в плазме. Радиус Дебая. Определение плазмы. Квазигидродинамическое описание плазмы. Комплексная диэлектрическая проницаемость холодной, изотропной плазмы. Дисперсия волн. Плазменные колебания, ленгмюровская частота. Фазовая и групповая скорость. Затухание из-за соударений. Полное внутреннее отражение и глубина проникновения электромагнитного поля в плазму. Диагностика плазмы.

### **Раздел 7. Электромагнитные волны в холодной магнитоактивной плазме**

Роль магнитных полей в физике плазмы. Магнитные поля Земли и космических объектов. Тензор электропроводности и диэлектрической проницаемости плазмы. Анизотропия магнитоактивных сред. Обыкновенные и необыкновенные нормальные волны в холодной магнитоактивной плазме без соударений. Показатель преломления этих волн. Показатели преломления и поляризация нормальных волн при их распространении вдоль, поперек и под некоторым углом к направлению внешнего магнитного поля. Эффект Фарадея.

### **Раздел 8. Электромагнитные волны в неоднородных средах**

Волновые уравнения для слоистонеоднородных сред. Метод геометрической оптики и ВКБ-приближение. Уравнение эйконала и переноса энергии излучения. Уравнение луча. Рефракция коротких волн в тропосфере и ионосфере Земли. Критическая частота. Естественные волноводы - звуковой канал в океане, волновод Земля-ионосфера.

### **Раздел 9. Волны в жидкостях, газах и упругих телах. Аналогии в задачах о распространении волн различной физической природы**

Полная замкнутая система уравнений механики для жидкостей и газов: уравнение непрерывности, уравнение Навье-Стокса для баланса импульсов, закон сохранения энергии в дифференциальной и интегральной форме. Проблема замыкания системы уравнений. Линеаризация уравнений механики жидкостей и газов для малых возмущений параметров среды. Уравнения линейной акустики и гидродинамики. Излучение звука осциллирующим поршнем и радиально пульсирующей упругой сферой. Интенсивность и мощность излучения. Акустический импеданс излучателя, присоединенная масса и упругость, сопротивление излучения. Поглощение звуковых волн в вязкой теплопроводной среде. Скорость звука. Объемная и сдвиговая упругость твердых тел. Математическое описание деформации тела. Закон Гука и уравнения механики изотропных упругих тел. Два типа нормальных волн в упругом теле. Взаимодействие и трансформация нормальных упругих волн в неоднородных средах.

## 6. Лабораторный практикум

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	4	Излучение вертикального электрического диполя вблизи плоской границы раздела двух сред
2.	6,7	Распространение коротких радиоволн в ионосфере

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. *Теория волн*. М. Наука, 1979, 1-е издание, 378 стр; М. Наука, 1990, 2-е издание, 432 стр.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика*. М. Наука, 1986, 734 стр.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория упругости*. М. Наука, 1987, 248 стр.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред*. М. Наука, 1982, 512 стр.
5. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. *Волновые явления в ионосфере и космической плазме*. М. Наука, 392 стр.

б) дополнительная литература:

1. Вайнштейн Л.А. *Электромагнитные волны*. М. Советское радио, 1988, 426 стр.
2. Гинзбург В.Л. *Электромагнитные волны в плазме*. М. Наука, 1967, 684 стр.
3. Мандельштам Л.И. *Лекции по теории колебаний*. М. Наука, 1972, 472 стр.
4. Горелик Г.С. *Колебания и волны*. М. Физматгиз, 1959, 572 стр.
5. Железняков В.В. *Электромагнитные волны в космической плазме*. М. Наука, 1977, 432 стр.
6. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. *Введение в теорию колебаний и волн*. М. Наука, 1984, 432 стр.
7. Гинзбург В.Л. *Теоретическая физика и астрофизика*. М. Наука, 1975, 416 стр.
8. Владимиров В.С. *Уравнения математической физики*. М. Наука, 1971, 280 стр.
9. Лайтхилл Д. *Волны в жидкостях*. М. Мир, 1981, 600 стр.
10. Борн М., Вольф Э. *Основы оптики*. М. Наука, 1973, 720 стр.
11. Климантович Ю.Л. *Статистическая физика*. М. Наука, 1982, 608 стр.
12. Джексон Дж. *Классическая электродинамика*. М. Мир, 1965, 704 стр.
13. Кролл Н., Трайвелпис. *Основы физики плазмы*. М. Мир, 1975, 528 стр.
14. Никольский В.В., Никольская Т.И. *Электродинамика и распространение радиоволн*. М. Наука, 1989, 544 стр.
15. Гапонов - Грехов А.В., Рабинович М.И. *Нелинейная физика. Стохастичность и структуры*. Препринт ИПФ АН СССР. - Горький: ИПФ АН, 1983, С 3-27.

## 8. Вопросы для контроля

1. Колебания и волны. Физические поля. Основные уравнения математической физики.
2. Плоская монохроматическая волна.
3. Комплексная форма записи гармонического поля. Уравнение Гельмгольца.
4. Цилиндрические и сферические монохроматические волны.
5. Принцип суперпозиции при решении линейных уравнений математической физики.
6. Постановка задачи об излучении заданных источников, расположенных в ограниченной области пространства. Условие излучения Зоммерфельда и принцип предельного поглощения.
7. Применение преобразования Фурье для решения линейных уравнений математической физики.
8. Метод функций Грина.

9. Дисперсионное уравнение. Фазовая и групповая скорости.
10. Физические свойства тел. Потенциал Леннарда-Джонса. Гипотеза сплошной среды.
11. Уравнения Максвелла-Лоренца. Поляризация и намагничение. Полный ток в среде.
12. Макроскопические электромагнитные поля и уравнения Максвелла. Граничные условия. Закон сохранения энергии для электромагнитных полей в вакууме.
13. Электромагнитные поля в однородной изотропной среде с постоянными значениями  $\epsilon$ ,  $\mu$  и  $\sigma$ . Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления.
14. Поляризация плоских электромагнитных волн. Коэффициент поляризации, эллипс поляризации. Параметры Стокса и сфера Пуанкаре.
15. Плоские волны в анизотропной среде. Уравнение Френеля.
16. Оптические свойства одноосных кристаллов.
17. Оптические свойства двухосных кристаллов.
18. Поверхность волновых векторов и лучевая поверхность.
19. Эффект Керра.
20. Определение и основные свойства плазмы. Дебаевское экранирование.
21. Квазигидродинамическое описание плазмы. Комплексная диэлектрическая проницаемость холодной изотропной плазмы. Плазменная частота.
22. Электромагнитные поля в холодной изотропной плазме. Диагностика плазмы.
23. Волны в плазме с тепловым движением электронов. Слабая пространственная дисперсия.
24. Тензор диэлектрической проницаемости холодной магнитоактивной плазмы.
25. Вывод формул для показателей преломления в магнитоактивной плазме. Два типа нормальных волн.
26. Дисперсионные кривые при распространении волн в плазме вдоль внешнего магнитного поля.
27. Дисперсионные кривые при распространении волн в плазме поперек внешнего магнитного поля.
28. Дисперсионные кривые при распространении волн в плазме под углом к внешнему магнитному полю.
29. Эффект Фарадея.
30. Условия применимости геометрической оптики.
31. Уравнение эйконала и переноса энергии излучения. Уравнение луча.
32. Описание движения сплошной среды в переменных Эйлера и Лагранжа. Полная производная по времени.
33. Уравнение непрерывности в механике жидкости и газа.
34. Основное уравнение механики сплошной среды. Тензор внутренних напряжений.
35. Тензор скоростей деформаций. Теорема Гельмгольца.
36. Уравнение Навье-Стокса.
37. Проблема замкнутой системы уравнений механики жидкостей и газов.
38. Закон сохранения энергии в вязкой теплопроводной среде.
39. Полная система уравнений механики жидкостей и газов. Граничные условия.
40. Система уравнений линейной акустики и газодинамики в отсутствие вязкости и теплопроводности. Волновое уравнение. Скорость звука по Лапласу.
41. Поляризация и энергетические характеристики звуковых волн.
42. Звуковые волны в вязкой теплопроводной среде. Изотермическая скорость звука Ньютона.
43. Излучение звука плоским осциллирующим поршнем.
44. Излучение звука радиально пульсирующей упругой сферой: постановка задачи и формулы для полей  $p$  и  $V_r$ .
45. Интенсивность и мощность излучения акустического монополя. Сила реакции излучения звука. Присоединенная масса и сопротивление излучения.
46. Объемная и сдвиговая упругость твердых тел. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

47. Математическое описание деформации тела. Вектор смещения и тензор деформации.
48. Обобщенный закон Гука. Однородные деформации.
49. Основные уравнения линейной теории упругости. Волны в изотропном упругом теле.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОФИЗИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса:

- ознакомление с основными статистическими методами применяемыми в радиофизических теоретических и экспериментальных исследованиях;
- знакомство с постановкой и решением задач оптимальной обработки сигналов.

Изучение курса предполагает:

- усвоение элементов теории случайных процессов, знакомство с основными типами и свойствами случайных процессов, используемых в радиофизике;
- получение навыков решения основных задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными системами;
- усвоение основ теории оптимального обнаружения сигналов и решение важнейших практических задач согласованной фильтрации;
- знакомство с природой шумов и флуктуацией в радиотехнических системах.

## 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Статистическая радиофизика» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина «Статистическая радиофизика» базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика».

## 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Статистическая радиофизика» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области и электроники (ПК-6).

В результате изучения студенты должны:

- знать теорию случайных процессов, иметь представление об основных типах и свойствах случайных процессов, используемых в радиофизике;
- приобрести навыки решения основных задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными системами;
- знать основы теории оптимального обнаружения сигналов и решение важнейших практических задач согласованной фильтрации.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>180</b>	<b>7</b>
Аудиторные занятия	80	7
Лекции	48	7
Практические занятия (ПЗ)	32	7
Самостоятельная работа	64	7
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 экзамен	7

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Элементы теории случайных процессов	*	*	
2.	Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов.	*	*	
3.	Импульсные случайные процессы. Шумы и флуктуации в радиотехнических системах.	*	*	
4.	Элементы теории оптимальной обработки сигналов.	*	*	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### I. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ.

##### 1.1. Определение и вероятностное описание случайного процесса.

Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятностей. Основные свойства многомерных плотностей вероятностей. Условные плотности вероятностей, их свойства и связь с многомерными безусловными плотностями вероятностей.

##### 1.2. Классификация случайных процессов по их вероятностному последствию.

Совершенно случайные процессы, марковские процессы и их описание. Уравнение Смолуховского для условной плотности вероятности марковского процесса. Квазидетерминированные случайные процессы.

##### 1.3. Многомерные характеристические, моментные и кумулянтные функции случайного процесса.

Характеристическая функция, определение и свойства. Моментные и кумулянтные функции, их взаимосвязь. Корреляционная и ковариационная функции случайного процесса. Коэффициент корреляции.

##### 1.4. Гауссовские случайные процессы.

Многомерная характеристическая функция и плотность вероятностей гауссовского процесса. Информация необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса. Ковариационная матрица отсчетов случайного процесса. Основные свойства гауссовских случайных процессов.

##### 1.5. Стационарные и эргодические случайные процессы.

Понятие стационарности в узком и широком смысле. Усреднение по статистическому ансамблю и по времени. Эргодичность случайных процессов. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к среднему значению, корреляционной функции, одномерной плотности вероятности. Экспериментальное измерение основных статистических характеристик эргодических случайных процессов.

##### 1.6. Совокупности случайных процессов.



Общее описание совокупности двух случайных процессов. Статистическая независимость случайных процессов. Взаимные корреляционные и ковариационные функции. Стационарность, эргодичность, гауссовость совокупности двух случайных процессов.

## II. СПЕКТРАЛЬНО - КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ.

### 2.1 Корреляционные функции.

Свойства корреляционных функций нестационарных и стационарных случайных процессов. Среднее значение и корреляционная функция производной и интегрального преобразования от случайного процесса.

### 2.2. Спектрально-корреляционный анализ сигналов 1-ой группы с конечной энергией.

Спектральная плотность энергии, функция корреляции первого рода и их свойства. Преобразование сигналов первой группы линейными системами.

### 2.3. Спектрально-корреляционный анализ сигналов II-ой группы с конечной мощностью.

Спектральная плотность мощности. Соотношение между спектральной плотностью мощности и корреляционной функцией для стационарных случайных процессов (формула Винера-Хинчина). Спектральная плотность мощности нестационарных сигналов II-ой группы. Функция корреляции второго рода. Ширина спектра случайного процесса, ее связь со временем корреляции. Узкополосные случайные процессы. Амплитуда и фаза случайного процесса. Представление узкополосного случайного процесса с помощью квадратурных компонент. Преобразование сигналов II-ой группы линейными системами. Приближение “белого” шума.

### 2.4. Совместные (взаимные) спектральные плотности энергии и мощности случайных процессов.

Взаимные функции корреляции первого и второго рода. Взаимные спектры, синфазная и квадратурная составляющие взаимных спектров. Взаимная спектральная плотность мощности входа и выхода линейной системы, выходных сигналов двух линейных систем. Основные неравенства для взаимных спектров. Функция когерентности. Применение взаимных корреляционных функций и спектров для определения источников шума и каналов его распространения.

### 2.5. Корреляционная функция спектральных компонент случайных процессов.

Определение и основные свойства корреляционной функции спектральных компонент стационарного случайного процесса. Взаимная корреляционная функция спектральных компонент.

### 2.6. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных преобразованных случайных процессов.

Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований (НБП) случайных гауссовских процессов. Выражение корреляционной функции выходного процесса в виде ряда по ковариационной функции входного процесса. Взаимная корреляционная и ковариационная функции входа и выхода НБП. Метод производных, формула Прайса. Метод кумулянтных уравнений. Анализ прохождения случайных процессов через цепочки инерционных и безынерционных элементов. Блок-схема анализатора спектра, точность измерения спектральной плотности мощности.

## III. ИМПУЛЬСНЫЕ СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ. ШУМЫ И ФЛУКТУАЦИИ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.

### 3.1. Импульсные случайные процессы.

Пуассоновский импульсный случайный процесс. Характеристическая функция пуассоновского процесса. Кумулянтные функции пуассоновского процесса. Ковариационная и спектральная плотность мощности. Формула Кэмпбелла. Преобразования пуассоновского процесса линейными системами.

### 3.2. Естественные шумы в радиотехнических системах.

Дробовой шум. Спектральная плотность мощности дробового тока диода. Формула Шотки, предела ее применимости. Тепловой шум. Кинетический формулы для корреляционной функции теплового шума. Формула Найквиста, пределы ее применимости.

## IV. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ.

### 4.1. Классификация задач оптимальной обработки сигналов.

Статистическая модель канала связи. Оптимальное обнаружение, различение, измерение параметров, фильтрация сигналов.

### 4.2. Оптимальное обнаружение сигналов при дискретных наблюдениях.

Двухальтернативная постановка задачи. Критерий идеального наблюдателя. Отношение правдоподобия. Структурная схема оптимального обнаружителя. Другие критерии оптимальности. Обнаружение детерминированного полезного сигнала на фоне гауссовских помех.

### 4.3. Оптимальное обнаружение сигналов при непрерывных наблюдениях.

Функционал отношения правдоподобия. Случай обнаружения детерминированного сигнала на фоне белого гауссовского шума. Корреляционный приемник. Согласованный фильтр. Отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра. Анализ эффективности оптимального обнаружителя.

## 6. Лабораторный практикум.

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	1	Оценивание параметров случайного процесса
2.	2	Измерение спектров шумов
3.	2	Измерение коэффициента корреляции двух случайных процессов

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. М.: Наука, 1976.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989.
4. Тихонов В.И., Харисов И.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.

б) дополнительная литература:

1. Зачепиская Л.П., Клибанова И.М. Измерение простейших характеристик случайных процессов, Горький, ГГУ, 1986.
2. Малахов А.Н., Саичев А.И. Спектрально-корреляционный анализ случайных процессов. Горький, ГГУ, 1979.

## 8. Вопросы для контроля

1. Определение случайного процесса. Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятности. Основные свойства многомерных плотностей вероятности случайного процесса.
2. Двумерная условная плотность вероятности случайного процесса и ее основные свойства. Зависимость условной плотности вероятности от разности времен для процесса

с конечным вероятностным последствием. Многомерные условные плотности вероятности, их свойства и связь с многомерными безусловными плотностями вероятности.

3. Классификация случайных процессов по их вероятностному последствию. Совершенно случайные процессы и марковские процессы, их описание. Уравнение Смолуховского для условной плотности вероятности марковского процесса.

4. Детерминированные и квазидетерминированные процессы, их описание в рамках теории случайных процессов, выражения для n-мерных плотностей вероятности.

5. Квазигармонический процесс  $X(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$  со случайной начальной фазой, равномерно распределенной в интервале  $[-\pi, \pi]$ . Его одномерная плотность вероятности.

6. Многомерная характеристическая функция случайного процесса и ее основные свойства.

7. Моментные функции случайного процесса. Среднее значение и корреляционная функция. Связь моментных функций с характеристической функцией.

8. Кумулянтные функции случайного процесса, их связь с характеристической функцией. Связь между кумулянтными и моментными функциями (на примере функций 1-го и 2-го порядка).

9. Ковариационная функция случайного процесса. Дисперсия. Понятия некоррелированности и статистической независимости двух значений случайного процесса. Коэффициент корреляции.

10. Гауссовские случайные процессы, их n-мерная характеристическая функция и плотность вероятности. Информация, необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса.

11. Ковариационная матрица n отсчетов случайного процесса и ее основные свойства.

12. Основные свойства гауссовских случайных процессов. Выражение n-мерных моментных функций гауссовского случайного процесса с нулевым средним значением через ковариационную функцию.

13. Стационарные случайные процессы. Понятия стационарности в узком и широком смысле, их взаимоотношение.

14. Стационарность квазидетерминированных случайных процессов (рассмотреть на примерах  $X(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ ;  $X(t) = S(t + \tau_0)$ , где  $\varphi$  и  $\tau_0$  - случайные величины,  $S(t)$  - периодическая детерминированная функция).

15. Эргодичность случайных процессов. Вывод необходимых и достаточных условий эргодичности по отношению к среднему значению.

16. Привести пример стационарного, но неэргодического случайного процесса (статистического ансамбля) с доказательством и обсуждением причин неэргодичности.

17. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к корреляционной функции случайного процесса (для произвольного и гауссовского процессов).

18. Достаточное условие эргодичности случайного процесса по отношению к одномерной плотности вероятности. Экспериментальное определение одномерной плотности вероятности эргодического случайного процесса.

19. Общее описание совокупности двух случайных процессов. Понятие статистической независимости двух случайных процессов. Взаимные корреляционная и ковариационная функции. Понятие некоррелированности двух случайных процессов.

20. Понятия стационарности, эргодичности, гауссовости совокупности двух случайных процессов. Разобрать пример двух стационарных, но нестационарно связанных случайных процессов.

21. Свойства корреляционной функции произвольного нестационарного случайного процесса.

22. Свойства корреляционной функции стационарного случайного процесса.

23. Типичные примеры корреляционных функций стационарных случайных процессов. Понятие времени корреляции.

24. Дифференцирование случайного процесса. Корреляционная функция и среднее значение производной от нестационарного случайного процесса.
25. Производная от стационарного случайного процесса, ее среднее значение и корреляционная функция (привести примеры нахождения).
26. Среднее значение и корреляционная функция интегрального преобразования случайного процесса.
27. Сигналы I-ой группы. Спектральная плотность энергии детерминированного сигнала I-ой группы. Преобразование спектральной плотности энергии детерминированных сигналов I-ой группы при прохождении через линейные системы.
28. Спектральная плотность энергии случайных сигналов I-ой группы, функция корреляции I-го рода, ее свойства.
29. Преобразование спектральной плотности энергии и функции корреляции случайных сигналов I-ой группы при прохождении их через линейные системы.
30. Сигналы II-ой группы. Спектральная плотность мощности. Соответствие между спектральной плотностью мощности и корреляционной функцией для стационарных случайных процессов (формула Винера-Хинчина).
31. Спектральная плотность мощности нестационарных процессов II-ой группы. Функция корреляции II-го рода.
32. Привести примеры стационарных сигналов II-ой группы (типичных пар: корреляционная функция - спектральная плотность мощности). Как влияет постоянное смещение на вид спектральной плотности мощности случайного процесса.
33. Спектральная плотность мощности детерминированного гармонического сигнала, квазигармонического сигнала со случайной фазой и гармонического сигнала, модулированного по амплитуде стационарным случайным процессом.
34. Ширина спектра случайного процесса, ее связь со временем корреляции. Узкополосные случайные процессы.
35. Преобразование спектральной плотности мощности, функции корреляции II-го рода при прохождении случайного процесса через линейную систему.
36. Приближение "белого шума". Квazистатистическое приближение.
37. Совместные функции корреляции (I и II-го рода) и спектральные плотности (энергии и мощности). Спектральная плотность мощности на выходе суммирующей цепочки.
38. Взаимная спектральная плотность мощности и функция когерентности. Их практическое использование для решения задач технической диагностики.
39. Корреляционная функция спектральных компонент случайного процесса и ее свойства.
40. Корреляционная функция спектральных компонент стационарного случайного процесса, ее выражения через спектральную плотность мощности, взаимная корреляционная функция на выходе двух линейных фильтров, на вход которых подается один и тот же случайный процесс.
41. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований случайных гауссовских процессов с помощью ковариационного ряда.
42. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований случайных гауссовских процессов с помощью формулы Прайса.
43. Импульсные случайные процессы. Определение пуассоновского импульсного случайного процесса.
44. Характеристическая функция пуассоновского импульсного случайного процесса.
45. Кумулянтные функции пуассоновского импульсного случайного процесса. Спектральная плотность мощности. Формула Кэмпбелла.
46. Формулировка задачи оптимального обнаружения сигнала на фоне шума при дискретных наблюдениях. Отношение правдоподобия. Понятие достаточной статистики.
47. Оптимальное обнаружение детерминированного сигнала на фоне аддитивного гауссовского шума. Дискретные наблюдения.

48. Оптимальное обнаружение детерминированного сигнала на фоне аддитивного “белого” гауссовского шума. Непрерывные наблюдения.
49. Согласованный фильтр, его импульсная переходная характеристика и коэффициент передачи. Характеристики сигнала и отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины направлено на обучение студентов методам представления сигналов, методам математического описания радиотехнических цепей и основам теории преобразования сигналов в радиотехнических устройствах. Как следствие – подготовить студентов к практическому применению полученных знаний при исследовании радиотехнических устройств и измерительных систем, а также при использовании радиотехнических методов исследований в экспериментальной радиофизике и в информационных системах.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Радиоэлектроника» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Радиоэлектроника» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения студенты должны:

- знать основные положения методов представления сигналов и вопросы преобразования сигналов линейными, параметрическими и нелинейными цепями (фильтрация, усиление, детектирование, преобразование частоты, модуляция, генерация); принципы действия типовых радиотехнических каскадов (усилитель, детектор, преобразователь частоты, генератор, модулятор);
- уметь математически описывать линейные, нелинейные и параметрические цепи;
- иметь представление (навыки) об основах аналоговой и цифровой схемотехники.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>180</b>	<b>5</b>
Аудиторные занятия	85	5
Лекции	51	5
Практические занятия (ПЗ)	34	5
Самостоятельная работа	59	5
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	5

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Введение в теорию радиотехнических сигналов	*	*	
2.	Основы теории радиотехнических цепей	*	*	
3.	Преобразование сигналов радиотехническими цепями	*	*	
4.	Аналоговая интегральная схемотехника	*		
5.	Элементы импульсной и цифровой техники	*		

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### **Введение.**

Цели и задачи курса. Измерительный канал в экспериментальной радиофизике. Радиотехнический канал в информационных системах. Примеры обработки сигналов в радиоастрономии, акустике, телеметрии. Примеры синтеза сигналов в радиолокации, радиосвязи, системах защиты информации.

#### **1. Введение в теорию радиотехнических сигналов**

1. Классификация радиотехнических сигналов.
2. Спектральное представление сигналов. Ортогональные сигналы. Периодические сигналы и ряды Фурье. Обобщенный ряд Фурье. Тригонометрическая форма рядов Фурье. Комплексная форма рядов Фурье. Спектральное представление непериодических сигналов. Основные свойства преобразования Фурье. Спектральная плотность неинтегрируемых сигналов. Соотношение между длительностью сигнала и шириной его спектра.
3. Дискретизация и квантование сигнала. Ортогональные сигналы с ограниченным спектром. Теорема Котельникова для сигнала с ограниченным спектром. Теорема Котельникова для сигнала конечной длительности. База сигнала. Объем сигнала. Спектр дискретизированного сигнала.
4. Модулированные сигналы. Сигналы с амплитудной модуляцией. Спектр АМ сигнала. Сигналы с угловой модуляцией. Виды угловой модуляции. Сигналы с однотоновой угловой модуляцией. Спектральное разложение ЧМ и ФМ при малых индексах модуляции. Спектр сигнала с угловой модуляцией при произвольном значении индекса модуляции.

#### **2. Основы теории радиотехнических цепей**

5. Методы математического описания линейных стационарных цепей. Классификация линейных цепей. Элементы электрических цепей (двухполюсник, четырехполюсник, источники). I и II законы Кирхгофа. Метод контурных токов. Временной метод анализа четырехполюсников. Импульсная и переходная характеристики четырехполюсников. Интеграл Дюамеля. Спектральный метод анализа четырехполюсников. Частотный коэффициент передачи. Представление сигналов на плоскости комплексной частоты. Преобразования Лапласа. Передаточная функция  $K(P)$  цепи.
6. Линейная фильтрация. Условие физической реализуемости четырехполюсников. Фильтрация нижних и верхних частот. Частотные и фазовые характеристики RC-фильтров



нижних и верхних частот. Полосовая фильтрация. Последовательный колебательный контур. Векторная диаграмма. Энергетические соотношения. Частотная и фазовая характеристики. Параллельный колебательный контур. Векторная диаграмма. Энергетические соотношения. Частотная и фазовая характеристики. Сравнительные характеристики последовательного и параллельного контуров. Условия безыскаженной передачи сигнала через электрическую цепь.

7. Линейные нестационарные цепи. Линейные параметрические двухполюсники. Временные характеристики параметрических четырехполюсников.

8. Введение в теорию нелинейных цепей. Некоторые характеристики нелинейных элементов. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов. Нелинейное преобразование формы сигнала. Нелинейное преобразование спектра сигнала. Безинерционное нелинейное преобразование суммы гармонических колебаний. Комбинационные частоты. Эффект интермодуляции. Совместное воздействие на нелинейном элементе сигналов большой и малой амплитуд.

### **3. Преобразование сигналов радиотехническими цепями**

9. Усиление сигналов. Общие сведения об усилителях. Принципы построения. Параметры усилителя. Аperiodический усилитель. Биполярный и полевой транзисторы. Статические характеристики транзисторов. Эквивалентные схемы аperiodического усилителя. АЧХ и ФЧХ аperiodического усилителя. Частотные искажения в аperiodическом усилителе. Динамические характеристики усилителя. Нелинейные искажения в аperiodическом усилителе.

Частотно-избирательные усилители. Эквивалентная схема частотно-избирательного усилителя. АЧХ и ФЧХ резонансного усилителя. Линейные искажения АМ колебания в резонансном усилителе. Нелинейные искажения в резонансном усилителе.

Обратные связи в усилителях. Передаточная функция линейной системы с обратной связью. Метод Найквиста. Критерий Найквиста устойчивости системы с обратной связью. Способы включения обратной связи в усилителях. Влияние обратной связи на свойства усилителя.

10. Генерация гармонических колебаний. Обобщенная схема автогенератора. Баланс амплитуд и баланс фаз. Самовозбуждение автогенератора с индуктивной обратной связью (линейное приближение). Стационарный режим автогенератора (квазилинейное приближение). Устойчивость стационарных режимов. Мягкое и жесткое самовозбуждение автогенератора.

11. Принципы получения модулированных колебаний. Амплитудная модуляция. Требования к цепям, осуществляющим амплитудную модуляцию. Получение амплитудной модуляции с применением нелинейных каскадов. Модуляция в параметрических цепях. Частотная модуляция. Параметрическое управление частотой генератора. Реактивный каскад на транзисторе.

12. Детектирование сигналов. Амплитудное детектирование. Детектирование нелинейными цепями. Ток детектирования. Детекторная характеристика. Детектирование слабых и сильных сигналов. Нелинейные искажения при детектировании АМ сигнала. Частотные искажения при амплитудном детектировании. Амплитудное детектирование параметрическими цепями. Фазовое детектирование. Фазовое детектирование параметрической системой. Фазовое детектирование нелинейными каскадами. Частотное детектирование.

13. Преобразование частоты. Преобразование спектра в нелинейном шестиполюснике. Прямое преобразование (линейное приближение по сигналу). Дополнительные каналы и интерференционные искажения при преобразовании частоты. Преобразование частоты (нелинейный режим по сигналу).

### **4. Аналоговая интегральная схемотехника**

14. Усилители постоянного тока (УПТ). Особенности схемных решений УПТ. Дрейф УПТ. Способы повышения стабильности параметров УПТ. Дифференциальный усилительный каскад. Коэффициент передачи синфазной и дифференциальной компонент сигнала. Инвертирующий и неинвертирующий входы. Дрейф дифференциального каскада. Интегральные операционные усилители (ОУ) и функциональные узлы на их основе. Безинерционные линейные цепи на базе ОУ (повторитель напряжения, сумматор, масштабный усилитель). ОУ в инерционных линейных цепях (интегратор, дифференциатор, фазовращатель. Фильтрующие цепи).

### 5. Элементы импульсной и цифровой техники

15. Электронный ключ и его основные свойства. Статический режим биполярного ключа. Переходные процессы в биполярном ключе: метод заряда, задержка включения, включение и выключение ключа. МДП - транзисторные ключи. Статический режим ключа с резисторной нагрузкой. Переходные процессы в этом ключе при его включении и выключении. Ключ с динамической нагрузкой. Комплементарный ключ.

16. Аппаратная (схемотехническая) реализация логических операций. Базовые схемы транзисторной логики. Реализация с помощью транзисторов логических операций. Диодно-транзисторная логика (ДТЛ). Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ). Базовый элемент ТТЛ. Логические элементы с открытым коллектором. Быстродействующие ТТЛ схемы на транзисторах Шоттки (ТТЛШ - логика).

17. Бистабильные ячейки, триггеры. Дизъюнктивная и конъюнктивная бистабильные ячейки (БЯ). Асинхронный RS - триггер. Триггеры, синхронизируемые уровнем ( RS- и D - триггеры). Универсальный JK-триггер. Счетный T-триггер.

18. Логические основы средних и больших интегральных схем (СИС и БИС). Сумматоры и арифметические устройства. Последовательный и параллельный многоразрядные сумматоры. Регистры. Регистры памяти, сдвиговые регистры. Счетчики. Асинхронный (последовательный) и синхронный (параллельный) счетчики. Суммирующий и вычитающий счетчики.

### Заключительная лекция

Структура типового радиотехнического канала. Проблема согласования каскадов. Перспективы развития радиотехнических систем и методов исследования.

### 6. Лабораторный практикум.

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	3	Апериодический усилитель
2.	3	Нелинейные преобразования сигналов
3.	3	Автогенератор гармонических сигналов

Предусмотрены в Спецпрактикуме.

### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

- Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для ВУЗов. М.Высшая школа, 1988.
- Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1986.
- Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. - М.: Энергия, 1972.
- Минаев Е.И. Основы радиоэлектроники. - 1990.
- Зиновьев А.Л., Филиппов Л.И. Введение в теорию специальных цепей. - М.: Высшая школа, 1968.

13. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособие для ВУЗов - М.: Радио и связь, 1990.
14. Калабеков Б.А., Мамзелев И.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы. - М.: Радио и связь, 1987.
15. Орлов И.Я. Лекции по основам радиоэлектроники. ННГУ, 2005.

б) дополнительная литература:

4. Белецкий А.Ф. Основы теории линейных электрических цепей. - М.: Связь, 1967.
5. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи. - М.: Высшая школа, 1977
6. Заездный А.М., Гуревич И.В. Основы расчета радиотехнических цепей. Линейные цепи. - М.: Связь, 1973.
7. Заездный А.М. Основы расчета нелинейных и параметрических радиотехнических цепей. - М.: Связь, 1973.
8. Кривошеев В.И. Спектральное представление сигналов. Методические указания к практикуму по ТОР. –ННГУ, 1989.
9. Рыжаков С.М. Прохождение сигналов через линейные цепи. Методические указания к практикуму по ТОР. –ННГУ, 1989.
10. Шкелев Е.И. Схемотехника линейных усилителей. Методические указания. –ННГУ, 1991.
11. Рыжаков С.М. Колебательные контуры. Методические указания. –ННГУ, 1994.

#### 8. Вопросы для контроля

1. Условие ортогональности сигналов
2. Спектр периодического сигнала
3. Спектр непериодического сигнала
4. Основные свойства преобразования Фурье
5. Спектральная плотность прямоугольного видеоимпульса, радиоимпульса
6. Амплитудный спектр периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов, радиоимпульсов
7. Теория Котельникова для сигнала с ограниченным спектром
8. Спектр АМ сигнала
9. Спектр ЧМ сигнала
10. Первый и второй законы Кирхгофа для электрической цепи
11. Интеграл Дюамеля
12. Спектр сигнала на выходе четырехполюсника
13. Нарисовать фильтр нижних частот, фильтр верхних частот и полосовой фильтр
14. Нарисовать и объяснить график  $|Z_{вх}|$  последовательного и параллельного колебательного контуров
15. Условие безыскаженной передачи сигнала через электрическую цепь
16. Основные свойства нелинейных цепей
17. АЧХ и ФЧХ апериодического усилителя
18. Положительная и отрицательная обратная связь
19. Критерий Найквиста устойчивости цепи с обратной связью
20. Нарисовать принципиальную схему
  - апериодического усилителя;
  - резонансного усилителя;
  - автогенератора гармонических колебаний;
  - амплитудного детектора;
  - синхронного детектора (структурную);
  - частотного детектора;
  - фазового детектора;

- преобразователя частоты;
  - эмиттерного повторителя
21. Динамическая нагрузочная характеристика апериодического усилителя
  22. Правила идеального операционного усилителя
  23. Нарисовать схему включения
    - инвертирующего ОУ напряжения
    - неинвертирующего ОУ напряжения
  24. Линейные искажения в резонансном усилителе
  25. Мягкий и жесткий режим возбуждения. Средняя крутизна.
  26. Частотные искажения при амплитудном детектировании
  27. Спектр на выходе амплитудного детектора
  28. Нарисовать и объяснить график коэффициента передачи преобразователя частоты
  29. Комбинационные каналы приема

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса - сформировать у студентов современное представление об основных методах формирования активной среды в виде электронного пучка для мощных источников когерентного электромагнитного излучения, включая теорию эмиссии электронов из твердого тела. Помимо этого, в курсе рассматриваются также современные методы электронной оптики слаботочных систем, включая различные виды электронных микроскопов.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Физическая электроника» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 «Радиофизика».

Дисциплина «Физическая электроника» базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модуля «Математический и естественнонаучный цикл»: «Математика», «Методы математической физики» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Физическая электроника» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области и электроники (ПК-6).

В процессе изучения курса студенты должны освоить и изучить:

- основы классической электронной оптики;
- различные виды электронной эмиссии и методы их теоретического описания;
- устройство и основные характеристики различных электровакуумных приборов.

### 4. Объём дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы 72 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>7</b>
Аудиторные занятия	32	7
Лекции	32	7
Самостоятельная работа	40	7
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	7

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Введение	*		
2.	Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях	*		
3.	Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы	*		
4.	Электронно-оптические системы	*		
5.	Интенсивные электронные пучки	*		
6.	Общие вопросы эмиссионной электроники	*		
7.	Термоэлектронная эмиссия	*		
8.	Полевая эмиссия	*		
9.	Вторичная электронная эмиссия	*		
10.	Фотоэлектронная эмиссия	*		
11.	Технические применения фото- и вторичной эмиссии	*		

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Введение

Предмет и задачи курса. Основные этапы развития электроники. Области применения полупроводниковых и вакуумных электронных приборов. Типичная блок-схема мощного вакуумного электронного прибора СВЧ. Разделы курса.

### Раздел 2. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях

**2.1.** Уравнения движения в электромагнитном поле. Случаи однородных электрического и магнитного полей. Интеграл энергии..

**2.2.** Движение в слабонеоднородных полях (дрейфовая теория). Поперечный адиабатический инвариант. Дрейфовые уравнения. Уравнения Лагранжа. Теорема Буша.

**2.3.** Критический режим магнетрона. Инвариант Пуанкаре. Адиабатическая теория магнетронно-инжекторной пушки гиротрона.

**2.4.** Вариационные принципы динамики заряженных частиц. Электронно-оптический коэффициент преломления.

### Раздел 3. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы

**3.1.** Дифференциальные уравнения траекторий заряженных частиц в аксиально-симметричных полях. Уравнения параксиальных траекторий. Изображающие свойства параксиальных пучков (стигматичность и подобие изображений). Классификация электростатических линз. Особенности электростатических линз с ограниченной областью поля. Иммерсионные линзы. Построение изображения в тонкой и толстой линзах. Линзы-диафрагмы. Иммерсионный объектив.

**3.2.** Классификация магнитных линз. Электронно-оптические свойства короткой (слабой) и длинной магнитных линз. Сильные магнитные линзы. Аберрации электронных линз. Электронные зеркала. Квадрупольные линзы. Отклоняющие системы.

### Раздел 4. Электронно-оптические системы

**4.1.** Проекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Разрешающая сила электронных микроскопов просвечивающего типа.

**4.2.** Системы фокусировки протяженных интенсивных электронных пучков (магнитная, периодическая, электростатическая, центробежная). Системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.

### **Раздел 5. Интенсивные электронные пучки**

**5.1.** Система самосогласованных уравнений пучка в статических полях. Режимы температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Теория идеализированного плоского диода (закон “трех вторых”).

**5.2.** Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Формирование ленточных электронных пучков. Пушки Пирса.

### **Раздел 6. Общие вопросы эмиссионной электроники**

Классификация электронной эмиссии. Релаксационные эффекты при движении возбужденных электронов к поверхности твердого тела. Работа выхода электронов из твердого тела. Профиль потенциального барьера.

### **Раздел 7. Термоэлектронная эмиссия.**

Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизм действия пленочного катода. L-катод. Оксидный катод. Эффект Шоттки.

### **Раздел 8. Полевая эмиссия.**

Прохождение электронов сквозь потенциальный барьер на поверхности твердого тела. Расчет автоэлектронного тока. Свойства и применение автоэлектронных катодов. Взрывная эмиссия. Сильноточные релятивистские ускорители электронов.

### **Раздел 9. Вторичная электронная эмиссия.**

Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям. Особенности вторичной эмиссии из полупроводников и диэлектриков.

### **Раздел 10. Фотоэлектронная эмиссия.**

Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Спектральные фотоэлектрические характеристики металлов. Плотность тока фотоэмиссии. Фотоэлектронная эмиссия диэлектриков и полупроводников. Сурьмяноцезиевый фотокатод.

### **Раздел 11. Технические применения фото- и вторичной эмиссии.**

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Фотоумножители. Шумы фотоэлементов и фотоумножителей.

## **6. Лабораторный практикум**

Не предусмотрен

## **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **7.1. Рекомендуемая литература.**

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред*. М.: Наука, 1992. 664 с.
2. Жеребцов И.И. *Электроника*. Энергоатомиздат. М.: 1990.
3. *Электронные приборы*. / Под ред. Г.Г. Шишкина. 4-е изд. М : Энергоатомиздат, 1989. 496 с.
4. В.М.Березин, В.С.Буряк, Э.М.Гутцайт, В.П.Марин. *Электронные приборы СВЧ*. М. : Высшая школа, 1985. 296 с.



5. Гапонов В.И. *Электроника*, ч.1, 2.М.: 1960.
6. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. *Эмиссионная электроника*. Наука. М.:1966.
7. Жигарев А.А. *Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы*. ВШ. М.: 1982.

б) дополнительная литература

1. *Электронные приборы сверхвысоких частот*. Уч.пособие под ред. В.М.Шевчика и М.А.Григорьева. Изд. СГУ. Саратов: 1980.
2. Царев Б.М. *Расчет и конструирование электронных ламп*. Энергия. 1967.
3. Мюллер Р.Б. *Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц*. Мир., М.: 1984.
4. Соболева Н.А., Берковский А.Г. и др. *Фотоэлектронные приборы*. Наука. М.: 1963.
5. Бродский Л.Н., Гуревич Ю.Я. *Теория электронной эмиссии из металлов*. Наука., М.: 1963.
6. Власов В.Ф. *Электронные и ионные приборы*. Связьиздат., М., 1960.
7. *Электроника* : Энцикл. словарь/ Гл. ред. В.Г.Колесников. М. : Сов. энцикл., 1991. 688с.

8. Вопросы для контроля

1. Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.
2. Преставление радиус-вектора и скорости электрона при движении в слабо неоднородных полях. Условия сохранения поперечного адиабатического инварианта. Теорема Буша. Устройство и принцип работы магнетронно-инжекторной пушки гиротрона.
3. Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.
4. Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.
5. Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды aberrаций электронных линз.
6. Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.
7. Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.
8. Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.
9. Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.
10. Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.
11. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.
12. Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.
13. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.
14. Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.
15. Принцип работы и быстроедействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса - сформировать у студентов современное представление об основных принципах функционирования полупроводниковых приборов. Особое внимание уделяется теории классических полупроводниковых приборов – диодам на основе р-п перехода и барьера Шоттки, а также полевым и биполярным транзисторам. Рассматриваются процессы происходящие в гетеропереходах и объясняются основные причины преимущества приборов на основе гетеропереходов перед классическими приборами на основе гомопереходов.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 «Радиофизика».

Дисциплина базируется на знаниях студентов, приобретенных в модулях «Общая физика», «Математика», «Теоретическая физика».

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Полупроводниковая электроника» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области и электроники (ПК-6).

При изучении курса студенты должны освоить следующие разделы.

#### а) Физика полупроводников:

- кристаллическая структура и зонная модель твердого тела,
- статистика электронов в твердом теле,
- колебания решетки,
- рассеяние и перенос носителей заряда в однородных полупроводниках,
- диффузия и перенос заряда в неоднородных полупроводниках,
- неравновесные явления в полупроводниках,
- явления на поверхности и границе раздела материалов,
- туннелирование носителей,

#### б) Теория классических полупроводниковых приборов – базовых элементов интегральных схем

- теория р-п перехода,
- теория биполярного транзистора,
- теория полевого транзистора.

#### в) Полупроводниковые СВЧ диоды – базовые элементы систем передачи данных

- принципы работы инжекционно-пролетного диода,
- принципы работы лавино-пролетного диода,
- принципы работы диода Ганна.

- в) Полупроводниковые приборы с гетеропереходами – перспективные приборы
- принципы работы гетеробиполярного и гетерополевого транзисторов
  - принципы работы сверхрешетки, туннельного и туннельно-резонансного диода
  - принципы работы оптоэлектронных приборов;

Полученные в лекционном курсе знания используются студентами на практических занятиях для изучения режимов работы и возможностей применения полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

#### 4. Объём дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>7</b>
Аудиторные занятия	64	7
Лекции	32	7
Практические занятия (ПЗ)	32	7
Самостоятельная работа	44	7
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	7

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	ведение	*	*	
2.	кристаллическая структура твердого тела	*	*	
3.	аморфная структура твердых тел	*	*	*
4.	статистика электронов в твердом теле	*	*	*
5.	упорядоченная решетка	*	*	
6.	перенос и рассеяние носителей в однородных полупроводниках	*	*	*
7.	равновесные явления в полупроводниках	*	*	*
8.	процессы переноса в неоднородных полупроводниках	*	*	
9.	теория р-п перехода	*	*	*
10.	устройства на базе диода	*	*	
11.	полярный транзистор	*	*	*
12.	работа биполярных транзисторов в схемах	*	*	
13.	явления на резкой границе раздела материалов	*	*	
14.	полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки	*	*	*
15.	полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник	*	*	
16.	полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	*	*	
17.	работа полевых транзисторов в схемах	*	*	
18.	полупроводниковые приборы СВЧ диапазона	*	*	
19.	оптоэлектронные приборы.	*		

##### 5.2. Содержание разделов дисциплины

## **Раздел 1. Кристаллическая структура твердого тела**

Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Прямая и обратная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве.

## **Раздел 2. Зонная структура твердых тел**

Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха. Локализованные и делокализованные волновые функции. Зоны Бриллюэна. Модель Кронига-Пенни. Закон дисперсии. Зонная структура полупроводников Si, Ge, GaAs. Движение свободных носителей. Эффективная масса носителей. Электроны и дырки в полупроводниках.

## **Раздел 3. Статистика электронов в твердом теле**

Заселение состояний электронами. Уровень Ферми. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Зависимость концентрации носителей и уровня Ферми от температуры в собственных полупроводниках, в примесных полупроводниках, в компенсированных полупроводниках. Собственная проводимость. Область истощения примесей. Примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда. Способы управления проводимостью в полупроводниках.

## **Раздел 4. Колебания решетки**

Колебания простой цепочки. Колебания сложной цепочки. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.

## **Раздел 5. Перенос и рассеяние носителей в однородных полупроводниках**

Кинетическое уравнение Больцмана. Механизмы рассеяния: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фононах, рассеяние на оптических фононах, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние. Описание движения носителей в слабых полях. Подвижность носителей.

## **Раздел 6. Неравновесные явления в полупроводниках**

Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей. Время жизни фотовозбужденных носителей.

## **Раздел 7. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках**

Диффузия свободных носителей заряда. Ток диффузии. Ток дрейфа. Возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Максвелловская релаксация основных носителей. Время жизни неосновных носителей заряда. Диффузионная длина.

## **Раздел 8. Теория p-n перехода**

Резкий и диффузный p-n переходы. Распределение заряда, структура поля и потенциала в переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей. Переход в состояние равновесия. Обедненный слой. Диод под внешним напряжением. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики. Барьерная емкость перехода и сопротивление базы. Пробой p-n перехода.

## **Раздел 9. Устройства на базе диода**

Выпрямители. Стабилизаторы. Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда.

## **Раздел 10. Биполярный транзистор**

Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи созданные основными и

неосновными носителями. Вольт-амперные характеристики. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания транзисторов.

#### **Раздел 11. Работа биполярных транзисторов в схемах**

Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.

#### **Раздел 12. Явления на резкой границе раздела материалов**

Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.

#### **Раздел 13. Полевой транзистор с p-n переходом и барьером Шоттки**

Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.

#### **Раздел 14. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник**

Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.

#### **Раздел 15. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник**

Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.

#### **Раздел 16. Работа полевых транзисторов в схемах**

Основные способы включения транзисторов. Комплиментарные схемы. Базовые элементы логики.

#### **Раздел 17. Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона**

Туннельный диод. Лавинно-пролетный диод. Генератор Ганна.

#### **Раздел 18. Оптоэлектронные приборы**

Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи.

### **6. Лабораторный практикум**

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	3, 4	Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника
2.	6	Определение характеристик полупроводника на основе эффекта Холла
3.	7	Измерение времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей заряда в полупроводнике
4.	9	Измерение статических характеристик полупроводникового диода
5.	11	Измерение статических характеристик биполярного транзистора
6.	13	Измерение статических характеристик полевого транзистора

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 1 Физматгиз М. 1960
2. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 2 Физматгиз М. 1960
3. Орешкин П.Т. "Физика полупроводников и диэлектриков" Высш.школа М. 1977
4. Овечкин Ю.А. "Полупроводниковые приборы" Высш. школа М.1986
5. Степаненко И.П. "Основы микроэлектроники" Сов. радио М. 1980
6. Степаненко И.П. "Основы теории транзисторов и транзисторных схем" Энергия. М. 1977
7. Митрофанов О.В., Симонов Б.М., Коледов Л.А. "Физические основы функционирования изделий микроэлектроники" Микроэлектроника. Высшая школа, М., 1987
8. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.П., "Полупроводниковые приборы" Высшая школа, М., 1981
9. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. "Полупроводниковые приборы" Энергоатомиздат, М., 1990
10. Федотов Я.А. "Основы физики полупроводниковых приборов" Сов.Радио М. 1969
11. Зи С. "Физика полупроводниковых приборов" т. 1, т. 2, Мир. М., 1984
12. Кремлев В.Я. "Физикотопологическое моделирование структур элементов БИС" Высшая школа, М., 1990
13. Пожела Ю., Юцене В. "Физика сверхбыстродействующих транзисторов" Мокслас, Вильнюс, 1985
14. Киттель Ч. "Элементарная физика твердого тела" Наука М. 1965
15. Займан Дж. "Принципы теории твердого тела" Мир, М., 1966

б) дополнительная литература:

1. Шалимова К.В. "Физика полупроводниковых приборов" Энергия М. 1971
2. Маллер Р., Крейминс Т. "Элементы интегральных схем"
3. Ржевкин К.С. "Физические принципы действия полупроводниковых приборов" МГУ, М., 1986
4. Ефимов Е.И., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. "Микроэлектроника. Физические и технологические основы. Надежность." Высшая школа, М., 1986
5. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. "Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника. Высшая школа, М., 1987
6. Росадо Л. "Физическая электроника и микроэлектроника" М. Высшая школа, 1991
7. Пикус Г.Е. "Основы теории полупроводниковых приборов" Наука, М., 1965
8. Зеегер К. "Физика полупроводниковых приборов" Мир, М., 1977
9. Смит Р. "Полупроводники" Мир, М., 1982
10. Фистуль В.И. "Введение в физику полупроводников" Высшая школа, М., 1984
11. Шалобутов Ю.К. "Введение в физику полупроводников" Наука, Л., 1969
12. Викулин И.М., Стафеев В.И. "Физика полупроводниковых приборов" Радио и связь М. 1990
13. Блатт Ф. "Физика электронной проводимости в твердых телах" Мир, М., 1971
14. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. "Физика полупроводниковых приборов" Наука, М., 1977
15. Киреев П.С. "Физика полупроводников" Высшая школа, М., 1969
16. Ансельм А.И. "Введение в теорию полупроводников" Наука М. 1978

8. Вопросы для контроля

1. Особенности кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца.
2. Причины возникновения зонной структуры твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок
3. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда.
4. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.
5. Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда.
6. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии.
7. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации.
8. Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.
9. p-n переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.
10. Контакт металл-полупроводник. Гетеропереход.
11. Принципы работы биполярного и гетробиполярного транзисторов.
12. Биполярный и гетробиполярный транзисторы.
13. Принципы работы полевого транзистора с управляющим переходом, барьером Шоттки, МДП затвором. Гетерополевые транзисторы.
14. Отличие принципов работы туннельного диода, лавинно-пролетного диода и генератора Ганна.
15. Принципы работы фильтров на поверхностных акустических волнах.



ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса - сформировать у студента современное представление о фотонной структуре электромагнитного поля, об элементарных квантовых актах однофотонного и многофотонного взаимодействия поля с веществом и их конкретном проявлении при преобразовании, усилении и генерации когерентного электромагнитного излучения в квантовых усилителях и генераторах радио- и оптического диапазонов длин волн. Большое внимание в курсе уделено сопутствующему математическому описанию указанных процессов, особенно квантовым кинетическим уравнениям для матрицы плотности и их использованию для расчета основных характеристик квантовых генераторов.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра

Дисциплина «Квантовая радиофизика» относится базовым дисциплинам профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Квантовая радиофизика» формируются следующие компетенции:

- способность собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным и научным проблемам (ОК-11);
- способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии (ОК-12);
- способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования (ПК-3);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-4);
- способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники (ПК-6).

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- квантовую теорию электромагнитного поля;
- квантовую теорию излучения и поглощения электромагнитных волн веществом;
- основные элементарные квантовые процессы с участием фотонов;
- квантовую теорию релаксации;
- основные механизмы уширения спектральных линий;
- квантовые кинетические уравнения для матрицы плотности;
- различные методы создания инверсной населенности в среде;
- физические принципы функционирования и основные характеристики квантовых усилителей и генераторов;
- основные типы нелинейных и параметрических процессов при взаимодействии поля со средой.

Студент также должен уметь:

- находить аналитические решения задач квантовой теории свободного электромагнитного поля (волновые функции, операторные решения уравнений

Гейзенберга, вероятностные распределения, средние значения и дисперсии для различных величин поля);

- проводить расчеты и делать численные оценки величин вероятностей переходов для однофотонных и двухфотонных процессов и их зависимостей от параметров спектральных линий;
- делать численные оценки времен релаксации для различных сред;
- решать квантовое кинетическое уравнение для матрицы плотности двухуровневых электро- и магнитодипольных систем, взаимодействующих с классическим резонансным полем;
- находить аналитическое решение и делать численные оценки инверсии населенностей и коэффициента усиления (поглощения) в двух-, трех- и четырехуровневых средах;
- делать числовые оценки добротности различных резонаторов;
- проводить аналитические расчеты и делать на их основе числовые оценки порога самовозбуждения, мощности колебаний, частоты генерации и оптимальной связи с нагрузкой для квантовых генераторов радио- и оптического диапазонов длин волн.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часов.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>7</b>
Аудиторные занятия	64	7
Лекции	32	7
Практические занятия (ПЗ)	16	7
Самостоятельная работа	60	7
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	36 (экзамен)	7

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Введение.	*		
2.	Квантовая теория свободного электромагнитного поля.	*	*	
3.	Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом.	*	*	
4.	Механизмы уширения спектральных линий. Релаксация.	*	*	
5.	Квантовая кинетика.	*	*	
6.	Взаимодействие двухуровневой среды с резонансным электромагнитным полем.	*	*	*
7.	Методы создания инверсной разности населенностей.	*	*	*
8.	Квантовые усилители и генераторы.	*	*	*

##### 5.2. Содержание разделов дисциплины

###### I. ВВЕДЕНИЕ.

Предмет квантовой радиофизики. История проблем. Квантовая радиофизика и радиоэлектроника. Роль квантовой радиофизики в разработке новейшей техники.

## II. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ СВОБОДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Постановка задачи. Идея квантования. Разложение электромагнитного поля по свободным типам колебаний. Канонически сопряженные переменные для электромагнитного поля. Квантование свободного электромагнитного поля. Операторы физических величин (вектор потенциала, напряженностей электрического и магнитного поля и энергии) для электромагнитных полей. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля. Общие следствия квантования электромагнитного поля. Общая характеристика и свойства электромагнитного поля в стационарном состоянии. Понятие электромагнитного вакуума. Его характерные свойства. Понятие фотона. Свойства фотона. Операторы электромагнитных полей для плоских волн. Операторы рождения и уничтожения для фотонов.

## III. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ВЕЩЕСТВОМ.

Оператор Гамильтона системы заряженных частиц и электромагнитного поля. Оператор энергии взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Квантовая теория излучения. Однофотонные и двухфотонные переходы в первом порядке теории возмущений. Матричные элементы оператора энергии взаимодействия поля с веществом для процессов однофотонного излучения и поглощения. Плотность радиационных осцилляторов (электромагнитных мод) в свободном пространстве и резонаторе. Индуцированное излучение фотона. Вероятность индуцированного излучения. Свойства индуцированного излучения. Спонтанное излучение. Вероятность спонтанного излучения. Свойства спонтанного излучения. Однофотонное поглощение. Вероятность однофотонного поглощения. Соотношение между вероятностями индуцированного и спонтанного процессов. Влияние вырождения состояний квантовой системы на величину вероятностей излучения и поглощения. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении. Правила отбора для электродипольного излучения (поглощения). Связь пространственной четности волновой функции квантовой системы с правилом отбора для дипольного излучения (поглощения). Магнитодипольное и электродипольное излучение (поглощение). Оценка величин для вероятностей этих процессов. Вероятность спонтанного излучения. Соотношение неопределенностей энергия-время и естественная ширина линии излучения. Добротность спектральной линии. Спонтанное излучение в оптике и радиодиапазоне. Оценки величин. Связь вероятности излучения (поглощения) квантовой системы с интенсивностью, спектральной интенсивностью и спектральной яркостью источника. Влияние ширины линии излучения (поглощения) на величину вероятности излучения квантовой системы. Сечения фотопоглощения и излучения квантовой системы. Многофотонные процессы. Параметрические и непараметрические многофотонные процессы. Вероятность двухфотонного процесса. Типы двухфотонных процессов. Трехфотонные процессы.

## IV. МЕХАНИЗМЫ УШИРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ. РЕЛАКСАЦИЯ.

Спонтанное излучение. Приближение Вигнера-Вайскопфа. Спектральный контур линии спонтанного излучения. Лэмбовский сдвиг уровней. Релаксация. Время релаксации. Понятие о динамической и диссипативной подсистемах на примере спонтанного излучения атома. Релаксация динамической подсистемы как процесс взаимодействия с диссипативной подсистемой. Электромагнитный вакуум как диссипативная подсистема. Релаксация и уширение спектральных линий. Однородное уширение спектральных линий. Физические механизмы однородного уширения спектральных линий в газах, жидкостях и твердых телах. Оценки величин однородного уширения спектральных линий для

различных физических механизмов. Неоднородное уширение спектральных линий. Физические механизмы неоднородного уширения. Оценки величин неоднородного уширения линий в различных средах.

#### V. КВАНТОВАЯ КИНЕТИКА.

Матрица плотности. Свойства матрицы плотности. Уравнение для матрицы плотности (уравнение фон-Неймана). Матрица плотности подсистемы. Квантовое кинетическое уравнение (уравнение для матрицы плотности динамической подсистемы, взаимодействующей с диссипативной подсистемой-термостатом). Времена релаксации для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности. Условия применимости квантового кинетического уравнения. Двухуровневая система. Уравнения для двухуровневой среды взаимодействующей с классическим электромагнитным полем. Продольное и поперечное времена релаксации и их физический смысл. Влияние фазосбивающих соударений на времена релаксации. Оценки продольного и поперечного времен релаксации для различных сред.

#### VI. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХУРОВНЕВОЙ СРЕДЫ С РЕЗОНАНСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ.

Поведение двухуровневой среды при ее взаимодействии с резонансным электромагнитным полем. Стационарные решения уравнений двухуровневой среды, взаимодействующей с резонансным полем. Эффекты насыщения и просветления среды в сильном электромагнитном поле. Мощность, поглощаемая средой из электромагнитного поля. Вероятность индуцированного излучения при квантовом переходе между двумя уровнями под действием классического электромагнитного поля. Насыщающая мощность. Оценки насыщающей мощности для различных сред, используемых в качестве рабочих материалов в квантовой электронике. Применение эффекта насыщения для управления параметрами лазерного излучения. Резонансное световое давление. Сила резонансного светового давления. Лазерное охлаждение атомов и его использование в новых поколениях квантовых приборов.

#### VII. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ИНВЕРСНОЙ РАЗНОСТИ НАСЕЛЕННОСТЕЙ.

Инверсия населенностей. Понятие отрицательной температуры. Метод оптической накачки. Трехуровневые системы. Представление 3-х уровневой системы эквивалентной 2-х уровневой системой. Инверсия населенностей в неодимовом лазере. Оценки инверсной разности населенностей для неодима. Создание инверсной разности населенностей в газах с помощью газового разряда. Возбуждение атомов при столкновении с электронами. Вероятность возбуждения атома налетающим электроном. Неупругие соударения атомов. Перенос энергии при неупругом соударении атомов и молекул. Гелий-неоновый лазер. Величины инверсной разности населенностей для газовых лазеров. Создание инверсной разности населенностей методом сортировки атомов неоднородными статическими электрическими и магнитными полями. Водородный мазер. Атомно-лучевая трубка. Квантовые стандарты времени и частоты.

#### VIII. КВАНТОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ГЕНЕРАТОРЫ.

Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент и показатель усиления. Оценки величины показателя усиления для различных сред. Полоса квантового усилителя типа бегущей волны. Шумы спонтанного излучения в квантовых усилителях. Предельная чувствительность квантового усилителя. Применение квантовых усилителей в науке и технике. Уравнения квантового генератора в полуклассическом приближении. Понятие о "холодных" и "горячих" модах. Одномодовое приближение. Укороченные уравнения для одномодового квантового генератора. Стационарный режим колебания квантового генератора и его характеристики. Условие самовозбуждения квантового

генератора. Эффект затягивания частоты в квантовом генераторе. Собственная и нагруженная добротность резонатора. Добротность связи на нагрузку (излучение). Время жизни фотона в резонаторе. Мощность квантового генератора. Оптимальная связь резонатора с нагрузкой. Максимальная мощность квантового генератора при оптимальной связи с нагрузкой. Оценка мощности для различных типов мазеров и лазеров. Методы повышения мощности генерации лазеров. Метод модулированной добротности. Метод синхронизации мод в лазерах.

#### 6. Лабораторный практикум.

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	7	Оптические квантовые генераторы.
2.	5	Электронный парамагнитный резонанс.
3.	2	Генерация второй гармоники излучения неодимового лазера.

Предусмотрены в Радиофизическом практикуме.

#### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

##### 7.1. Рекомендуемая литература:

а) основная литература:

1. Ярив А. *Квантовая электроника.* - М.: Сов.радио,1980.
2. Страховский Г.Н., Успенский А.В. *Основы квантовой электроники* - М.: Высшая школа, 1979.
3. Звелто О. *Физика лазеров* - М.: Мир,1979.
4. Карлов Н.В. *Лекции по квантовой электронике.* - М.: Наука,1983.
5. Клышко Д.Н. *Физические основы квантовой электроники.* - М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.литературы, 1986.
6. Пантелл Р., Путхоф Г. *Основы квантовой электроники.* - М.: Мир,1972.

б) дополнительная литература:

1. Хакен Г. *Лазерная светодинамика* - М.: Мир, 1988.
2. Файн В.М. *Квантовая радиофизика, Т.1. Фотон и нелинейные среды* . - М.: Сов.радио, 1972.
3. Ханин Я.И. *Квантовая радиофизика, Т.2. Динамика квантовых генераторов.* - М.: Сов.радио, 1975.

#### 8. Вопросы для контроля

1. Какова диаграмма направленности излучения у атома при электродипольном переходе?
2. Различаются ли по величине средние дипольные моменты атома водорода в 2P и 1S состояниях?
3. Как изменяются атомные квантовые числа  $S$ ,  $L$ ,  $J$  (приближение LS-связи) при электродипольном и магнитодипольном переходах?
4. Перечислите физические явления, в которых проявляет себя электромагнитный вакуум.
5. Мощность спонтанного излучения атома:  $\hbar\omega_{ba} \cdot A_{sp}$  не зависит от  $\hbar$ . Какой аналог в классике имеется у спонтанного излучения?
6. Почему квантовый генератор радиодиапазона запускается практически одновременно с подачей на него питания, хотя время спонтанного излучения для радиодиапазона составляет несколько лет?
7. Вероятность перехода во втором порядке теории возмущений. Условия применимости этого выражения. Какие физические явления могут быть описаны с помощью этой формулы?

8. Для процесса двухфотонного спонтанного излучения дайте характеристику виртуальных переходов и виртуальных состояний. Как зависит от энергии виртуального состояния вероятность этого процесса?
9. Излучение частоты  $\omega$  частично поглощается при распространении в веществе. Можно ли по зависимости поглощения от мощности падающего излучения сказать, какой тип процессов - однофотонный или двухфотонный, дает вклад в это поглощение?
10. Перечислите отличия комбинационного рассеяния от рэлеевского рассеяния. Чем отличается комбинационное рассеяние от вынужденного комбинационного рассеяния?
11. Газокинетические соударения атомов и их влияние на параметры излучения газов.
12. При каких условиях и в отношении каких величин квантовое и классическое описание электромагнитного поля дают одинаковый результат?
13. Объясните различные механизмы неоднородного уширения спектральных линий в различных средах.
14. Почему происходит уширение спектральных линий поглощения (излучения) вещества в сильных полях?
15. Почему в оптическом диапазоне длин волн для измерения ширины спектральных линий можно использовать явление флуоресценции, а в радиодиапазоне - только вынужденное излучение или поглощение среды во внешнем поле?
16. В чем заключаются отличия квантового кинетического уравнения от уравнений Фон-Неймана и Шредингера?
17. Объясните механизмы релаксации в газах.
18. Физический смысл времени релаксации  $\tau_{mn}$  для недиагональных матричных элементов  $\sigma_{mn}$ ?
19. Физический смысл продольного времени релаксации  $T_1$ . Как оно соотносится с поперечным временем релаксации  $T_2$ ?
20. Объясните механизмы релаксации электронов и дырок в полупроводниках.
21. Опишите принцип работы КСЧ.
22. Опишите теоретическую модель квантового генератора и усилителя.
23. Дайте объяснение механизма возникновения стационарной генерации в квантовых генераторах.
24. Для трехуровневой схемы напишите балансные уравнения для населенностей и сформулируйте условия их применимости.
25. Дайте объяснение возможного влияния многофотонных процессов на достижение больших мощностей в лазерах?
26. Объясните возможность применения эффекта насыщения в лазерной технике для повышения мощности импульсных лазеров.
27. Объясните, какими физическими механизмами обусловлены различные члены в уравнениях для двухуровневой среды, взаимодействующей с классическим электромагнитным полем?
28. Объясните влияние расстройки частоты резонатора относительно частоты квантового перехода на мощность квантового генератора. Нарисуйте (качественный) график зависимости мощности от расстройки этих частот.
29. Объясните зависимость условия самовозбуждения квантового генератора от различных параметров рабочей среды и резонатора.
30. Какими физическими факторами обусловлена величина добротности собственного типа колебаний резонатора в квантовом генераторе или усилителе?
31. Какие процессы приводят к установлению стационарного распределения населенностей на энергетических уровнях квантовой системы? Приведите конкретные примеры.
32. Как будет изменяться частота генерации квантового генератора при увеличении добротности резонатора (до бесконечности)?

33. Зависит ли от матричного элемента дипольного момента условие самовозбуждения квантового генератора, если известно, что спектральный контур линии излучения атома обусловлен только спонтанным излучением?
34. Почему у атома есть диаграмма направленности излучения, хотя он "круглый" (обладает центром симметрии)?
35. Почему ЯМР и ЭПР наблюдают по поглощению, а не по спонтанному излучению, как это делается в оптике?
36. Релаксационные процессы. Чем они обусловлены? Какие (перечислить) физические системы играют роль термостатов (диссипативных подсистем) в квантовых генераторах и усилителях радио- и оптического диапазонов длин волн?
37. Электродипольное приближение в теории излучения (поглощения) электромагнитных волн. Условие его применимости.
38. Мощность квантового генератора и ее зависимость от насыщающей интенсивности рабочей среды. Объяснить механизм этой зависимости.
39. Мощность квантового генератора и ее зависимость от добротности резонатора (связи с нагрузкой). Качественный график этой зависимости.
40. Трехуровневая схема квантового генератора и усилителя. Ее основные недостатки.
41. Четырехуровневая схема квантового генератора и усилителя. Ее преимущества по сравнению с трехуровневой.
42. Квантовое кинетическое уравнение. Для каких физических систем необходимо использовать квантовое кинетическое уравнение?
43. Продольное и поперечное времена релаксации. Какие процессы они характеризуют?
44. Эффект насыщения. Механизм его возникновения.
45. Эффект просветления среды в сильных полях. Механизм его возникновения.
46. Диапазон перестройки частоты квантового генератора. Физические механизмы управления частотой квантового генератора.



ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Рекомендуется для направления подготовки

**011800 «РАДИОФИЗИКА»**

Квалификация (степень) выпускника **бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины:

Основная цель преподавания дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» - приобретение обучающимися теоретических знаний и практических навыков по безопасной жизнедеятельности на производстве и в быту, как в повседневной жизнедеятельности, так и в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного и природного происхождения.

Дополнительная цель – привитие элементарных навыков в использовании индивидуальных средств защиты от техногенных воздействий и оказании первичной доврачебной помощи пострадавшим.

Задачи дисциплины «Безопасность жизнедеятельности»:

- получение основополагающих знаний в следующих сферах жизнедеятельности:
- охране здоровья и жизни людей в сфере профессиональной деятельности;
- защите в чрезвычайных ситуациях и в быту;
- охране окружающей среды;
- прогнозированию и моделированию последствий производственных аварий и катастроф;
- разработке технических средств и методов защиты окружающей среды и эффективных малоотходных технологий.

### 2. Место дисциплины в структуре программы бакалавра:

Дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011800 – Радиофизика.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины:

Изучение дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» обеспечивает овладение обучающимися следующими компетенциями:

- способностью следовать этическим и правовым нормам; толерантность; способность к социальной адаптации (ОК-5);
- способностью следовать социально-значимым представлениям о здоровом образе жизни (ОК-7);
- способностью овладения основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ОК-16);
- способностью использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-18).

В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

- знать опасные и вредные факторы системы «человек – среда обитания», методы анализа антропогенных опасностей, научные и организационные основы защиты окружающей среды и ликвидации последствий, аварий, катастроф, стихийных бедствий.
- уметь анализировать и оценивать степень риска проявления факторов опасности системы «человек – среда обитания», осуществлять и контролировать выполнение требований по охране труда и технике безопасности в конкретной сфере деятельности.
- владеть навыками безопасного использования технических средств в профессиональной деятельности.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы 72 часа.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>72</b>	<b>8</b>
Аудиторные занятия	34	8

Лекции	34	8
Практические занятия (ПЗ)		
Самостоятельная работа	38	8
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	8

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п /п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1	Введение	*		
2	Комфортные и допустимые условия жизнедеятельности	*		
3	Электробезопасность	*		
4	Радиационная безопасность	*		
5	Пожаробезопасность и взрывобезопасность	*		
6	Защита от электромагнитных полей высокой и сверхвысокой частоты	*		
7	Оптимизация параметров рабочих мест	*		
8	Техногенные и природные чрезвычайные ситуации	*		
9	Способы и средства оказания доврачебной помощи	*		

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### Раздел 1. Введение.

Цель, задачи и содержание дисциплины. Ее место и роль среди других наук и в подготовке специалиста. Комплексный характер дисциплины: психологические возможности человека, социальные, экологические, технологические, правовые и международные аспекты. Основные понятия науки о безопасности жизнедеятельности. Проблема обеспечения безопасности человека в системе «человек - среда обитания». Опасные и вредные факторы производственной среды. Физические, химические, биологические и психофизиологические опасности.

Условия обеспечения безопасности и здоровья человеку на производстве и в быту (безопасное технологическое оборудование, безопасные рабочие места, правовое и организационное регулирование труда).

#### Раздел 2. Комфортные и допустимые условия жизнедеятельности.

Микроклимат и воздушная среда рабочей зоны. Влияние микроклимата на работоспособность человека. Нормирование параметров микроклимата в конкретном производстве. Тепловые излучения и влияние их на организм человека. Нормирование тепловых излучений. Адаптация и акклиматизация в условиях перегревания и переохлаждения. Действие вредных веществ на организм человека в конкретном производстве. Нормирование концентрации вредных веществ в воздушной среде рабочей зоны. Методы контроля состояния воздушной среды. Производственное освещение. Характеристика электрических источников света и осветительных приборов. Естественное и совмещенное освещение в производственных цехах. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Естественная и механическая вентиляция. Производственный шум. Источники шума и шумовые характеристики в конкретном производстве. Производственная вибрация. Физические характеристики и измерение вибраций в конкретном производстве. Характеристика и опасность совместного воздействия вибраций, шума, ультразвука и инфразвука.

#### Раздел 3. Электробезопасность.

Действие электрического тока на организм человека. Опасность поражения в различных электрических сетях. Заземление и зануление. Классификация помещений по

электробезопасности. Квалификационные группы персонала по электробезопасности. Напряжение шага, прикосновения. Защитные меры в электроустановках. Защитные средства, применяемые в электроустановках. Защитная изоляция: виды, роль в обеспечении электробезопасности, критические параметры. Защита от статического электричества. Организационные и технические мероприятия при эксплуатации электроустановок. Средства индивидуальной защиты.

#### **Раздел 4. Радиационная безопасность.**

Основные понятия, определения, единицы измерения в области радиационной безопасности. Фоновое облучение человека. Нормирование ионизирующих излучений. Защита от воздействия ионизирующего излучения на производстве. Средства индивидуальной защиты.

Защита от лазерных излучений. Применение лазеров в технологических процессах. Биологическое действие лазерного излучения: воздействие на глаза, кожу, внутренние органы и организм человека в целом. Опасные и вредные производственные факторы, сопутствующие эксплуатации лазеров. Основные способы и средства защиты от лазерного излучения: экранирование, блокировка, сигнализация, удаление рабочих мест из лазерно-опасной зоны. Средства индивидуальной защиты.

#### **Раздел 5. Пожаробезопасность и взрывобезопасность.**

Причины возникновения пожаров и взрывов в помещениях и в производственных процессах. Опасные факторы при пожарах и взрывах. Основные сведения из теории естественного окисления, теплового самовоспламенения и цепных реакций. Самовоспламенение смеси газов, воспламенение жидкости, вспышка паров. Оценка пожароопасности веществ и материалов. Предупреждение взрывов и пожаров. Ликвидация их последствий. Показатели пожароопасности. Классификация зданий и помещений по пожарной (взрывной) опасности. Прогнозирование пожаров и взрывов. Пожарная безопасность в технологических процессах конкретных производств. Системы и средства пожаротушения, пожарной автоматики и сигнализации. Средства индивидуальной защиты.

#### **Раздел 6. Защита от электромагнитных полей высокой и сверхвысокой частоты.**

Основные понятия и определения. Физические характеристики электромагнитных полей (ЭМП). Воздействие электромагнитных полей на организм человека. Тепловой и функциональный эффект. Органы человека с повышенной чувствительностью к ЭМП. Организационные, технические и санитарно-гигиенические меры защиты от электромагнитных излучений в конкретном производстве. Нормирование интенсивности ЭМП. Расчет интенсивности ЭМП на рабочих местах в зависимости от параметров источника излучения и среды. Определение границ опасной зоны.

#### **Раздел 7. Оптимизация параметров рабочих мест.**

Виды и формы деятельности. Энергетические затраты при различных формах деятельности. Определение категории тяжести труда. Способы оценки тяжести и напряженности трудовой деятельности. Работоспособность и ее динамика. Пути повышения эффективности трудовой деятельности. Эргономические основы безопасности жизнедеятельности.

Правила эвакуации лиц, пострадавших на пожарах, в газотравленных зонах, при отравлениях.

#### **Раздел 8. Техногенные и природные чрезвычайные ситуации.**

Прогнозирование параметров и оценка обстановки при ЧС. Защитные мероприятия при ЧС. Ликвидация последствий ЧС. Защита от терроризма.

#### **Раздел 9. Способы и средства оказания доврачебной помощи.**

Способы и средства оказания доврачебной помощи на производстве и в быту. Оказание первой помощи пострадавшим от электрического тока и при других несчастных случаях, возникающих при чрезвычайных ситуациях: ранение, ожоги, обморожения, переломы, вывихи, растяжения связок. Условия успеха при оказании первой помощи:

быстрота оказания помощи, обученность персонала методам оказания первой медицинской помощи и др.

#### 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

#### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

##### 7.1. Нормативные правовые акты

1. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
2. ГОСТ 12.1.001-89 ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты напряжением 400 кВ и выше. Общие требования безопасности.
4. ГОСТ 12.1.003-83\* ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.
7. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
8. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
9. ГОСТ 12.4.011-87 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
10. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения.
11. ГОСТ Р 22.0.02-94. БЧС. Термины и определения основных понятий.
12. ГОСТ Р. 22.0.06-95. БЧС. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Номенклатура поражающих воздействий.
13. ГОСТ Р 22.1.10-02. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг химически опасных объектов. Общие требования.
14. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. – М.: Минздрав России, 1998.
15. ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы. – М.: Минздрав России, 1998.
16. Межотраслевые Правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: НЦ ЭНАС, 2001.
17. МУК 4.3.045-96. Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения средств телевидения и ЧМ-радиовещания. Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
18. МУК 4.3.046-96. Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной и подвижной радиосвязи ОВЧ- и УВЧ-диапазонов. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
19. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ВНИИПО МВД, 1995.
20. Р.2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса «Критерии и классификация условий труда». – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2006.
21. СанПин 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи.
22. СанПин 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
23. СанПин 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов.
24. СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному,

искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав РФ, 2003.

25. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электро-вычислительным машинам и организации работы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Минздрав РФ, 2003.

26. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав РФ, 1997.

27. СанПин 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Минздрав РФ, 2003.

28. СанПин 5804-91. Санитарные правила и нормы устройства и эксплуатации лазеров. – М.: Минздрав России, 1991.

29. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, ПЭВМ и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.

30. СН 2971-84. Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередач. – м.: Минздрав СССР, 1984.

31. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 1997.

32. СП 2.6.1-758-99. Нормы радиационной безопасности, НБР-99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999.

33. СП 2.6.1.799-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). – М.: Минздрав России, 2000.

## 7.2. Основная литература

1. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. Для вузов // С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; / Под общ. ред. С.В. Белова. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. школа, 2007. – 616 с.

2. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие для вузов. – М.: Издат. Центр «Академия», 2003. – 336 с.

3. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 2005. – 383 с.

4. Павлов А.Н., Кириллов В.М. Безопасность жизнедеятельности и перспективы экоразвития. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 352 с.

## 7.3. Дополнительная литература

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.

2. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2004 году. М.: ООО «МультиМедиаТехнологии и дистанционное обучение», 2005. 172 с.

3. Павлов А.Н. Воздействие электромагнитных излучений на жизнедеятельность. М.: Гелиос АРВ, 2002. 157 с.

4. Надёжность технических систем и техногенный риск / Под ред. М.И. Фалеева. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.

5. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р.2.2 2006-05.

6. Средства индивидуальной защиты: Справочник-каталог / С.А. Беляева, Л.А. Эглит, Т.Г. Сибилева и др. – М.: Всероссийский центр охраны. – Т. 1, 2002; Т. 2, 2003.

## 8. Вопросы для контроля

1. Проблема обеспечения безопасности человека в системе «человек - среда обитания».

2. Опасные и вредные факторы производственной среды.

3. Физические, химические, биологические и психофизиологические опасности.
4. Условия обеспечения безопасности и здоровья человеку на производстве и в быту.
5. Микроклимат и воздушная среда рабочей зоны.
6. Тепловые излучения и влияние их на организм человека.
7. Действие вредных веществ на организм человека в конкретном производстве.
8. Производственное освещение.
9. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
10. Производственный шум.
11. Действие электрического тока на организм человека.
12. Заземление и зануление.
13. Классификация помещений по электробезопасности.
14. Квалификационные группы персонала по электробезопасности.
15. Защитные меры в электроустановках.
16. Защитные средства, применяемые в электроустановках.
17. Защитная изоляция: виды, роль в обеспечении электробезопасности, критические параметры.
18. Защита от статического электричества.
19. Организационные и технические мероприятия при эксплуатации электроустановок.
20. Средства индивидуальной защиты.
21. Фоновое облучение человека.
22. Нормирование ионизирующих излучений.
23. Защита от воздействия ионизирующего излучения на производстве.
24. Защита от лазерных излучений.
25. Причины возникновения пожаров и взрывов в помещениях и в производственных процессах.
26. Опасные факторы при пожарах и взрывах.
27. Предупреждение взрывов и пожаров. Ликвидация их последствий.
28. Классификация зданий и помещений по пожарной (взрывной) опасности.
29. Пожарная безопасность в технологических процессах конкретных производств.
30. Системы и средства пожаротушения, пожарной автоматики и сигнализации.
31. Воздействие электромагнитных полей на организм человека.
32. Организационные, технические и санитарно-гигиенические меры защиты от электромагнитных излучений в конкретном производстве.
33. Нормирование интенсивности ЭМП.
34. Энергетические затраты при различных формах деятельности.
35. Определение категории тяжести труда.
36. Работоспособность и ее динамика.
37. Пути повышения эффективности трудовой деятельности. Эргономические основы безопасности жизнедеятельности.
38. Правила эвакуации лиц, пострадавших на пожарах, в газотравленных зонах, при отравлениях.
39. Прогнозирование параметров и оценка обстановки при ЧС.
40. Защитные мероприятия при ЧС.
41. Ликвидация последствий ЧС.
42. Защита от терроризма.
43. Способы и средства оказания доврачебной помощи на производстве и в быту.
44. Оказание первой помощи пострадавшим от электрического тока и при других несчастных случаях, возникающих при чрезвычайных ситуациях: ранение, ожоги, обморожения, переломы, вывихи, растяжения связок.
45. Условия успеха при оказании первой помощи: быстрота оказания помощи, обученность персонала методам оказания первой медицинской помощи и др.

### Список разработчиков ПООП, экспертов

#### Разработчики:

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ) ННГУ	Проректор ННГУ по научной работе, профессор	С.Н. Гурбатов
ННГУ	Декан радиофизического факультета, профессор	А.В. Якимов
ННГУ	Зам. декана радиофизического факультета, доцент	И.С. Жукова
ННГУ	Председатель методической комиссии радиофизического факультета, профессор	В.Н. Мануилов
ННГУ	Зав. кафедрой радиофизического факультета, профессор	А.В. Кудрин
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ) МГУ	Председатель УМС по физике УМО по классическому университетскому образованию, декан Физического факультета МГУ, профессор	В.И. Трухин
МГУ	Заместитель председателя УМС по физике УМО по классическому университетскому образованию, зав. кафедрой Физического факультета МГУ, чл.-корр. РАН	Д.Р. Хохлов
МГУ	Ученый секретарь УМС по физике УМО по классическому университетскому образованию	О.В. Чуманова
ГОУ ВПО «Томский государственный университет» (ТГУ) ТГУ	Ректор	Г.В. Майер
ТГУ	Декан радиофизического факультета, доцент	В.В. Демин
ТГУ	Заместитель декана радиофизического факультета, доцент	А.Г. Коротаев

#### Эксперты:

Институт прикладной физики РАН	Директор, академик РАН	А.Г. Литвак
-----------------------------------	------------------------	-------------

#### Руководитель базовой организации – разработчика ФГОС ВПО

Ректор ГОУ ВПО  
«Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»,  
профессор

*Программа одобрена на  
Президиуме УМС по физике  
4-2.11.2020г (г. Владивосток)  
Председатель УМС по физике  
профессор*



Е.В. Чупрунов

*В.И. Трухин*