

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физико-технического  
факультета СарФТИ НИЯУ  
МИФИ  
\_\_\_\_\_ А.К.Чернышев  
«...» \_\_\_\_\_ 2021 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Экспериментальные методы

(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность) 03.03.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки Фундаментальная и прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_

Форма обучения \_\_\_\_\_ очная \_\_\_\_\_

Автор \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н. В.Е. Аблесимов

Рецензент \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. С.Н. Абрамович

Зав. кафедрой ЯРФ \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ  
(актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

Программа актуализирована на заседании кафедры  
Ядерной и радиационной физики  
от 30.08.21 протокол №1

г. Саров, 2021 г.

## 1. Вводная часть

### 1.1. Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целью данного курса является:

формирование у студентов современных фундаментальных знаний в области экспериментальных методов физики атомного ядра. Физика атомного ядра, являясь одним из основных разделов науки о природе, своими методами и приложениями прочно вошла в инженерную практику и различные разделы фундаментальной науки. Этим определяется необходимость углублённого изучения экспериментальных методов физики атомного ядра при подготовке специалистов для любых разделов естествознания и техники.

1. Цель преподавания - дать представление студентам о месте экспериментальных методов ядерной физики в ряду инженерных наук, о роли этой дисциплины в развитии фундаментальных знаний о природе вещества, ознакомить с современным состоянием сведений о свойствах детекторов ядерных излучений, с физикой процессов, происходящих при их регистрации, показать роль экспериментальных методов ядерной физики в науке и технике.

2. Задача преподавания - обеспечить необходимый для инженера-физика объём знаний о свойствах детекторов ядерных излучений, освоение особенностей ядерной электроники, а также овладение основами методов экспериментальной ядерной физики.

В итоге изучения курса студент должен освоить основной фактический материал, уметь применять на практике методы экспериментальной ядерной физики, научиться работать с научной периодикой, овладеть техникой представления результатов в виде доклада, научно-технического отчёта, статьи в научное издание.

*Задачи дисциплины:*

- дать представление о месте и роли экспериментальных методов ядерной физики в современной науке и технике;
- сообщить сведения о процессах взаимодействия ядерных излучений с веществом;
- показать роль автоматизации процессов физических исследований;
- ознакомить с важнейшими проблемами ядерной электроники;
- стимулировать развитие способности к самостоятельному поиску и освоению ядерно-физической информации.

### 1.2. Место учебной дисциплины в структуре ООП

Курс «Экспериментальные методы» является важным компонентом в подготовке будущих специалистов для ЯОК. Он обеспечивает необходимый уровень знаний в этой области для самостоятельного изучения научной литературы и применения методов ядерной физики для решения различных проблем науки и техники.

Курс «Экспериментальные методы» читается на 4 курсе в 7 семестре обучения по ООП.

Дисциплины, предварительное изучение которых необходимо студентам:

*Высшая математика* (дифференциальное и интегральное исчисления, обыкновенные и в частных производных дифференциальные уравнения, векторный анализ, матричное исчисление, основы теории вероятностей).

*Общая физика* (классическая механика, электричество и магнетизм, электродинамика, основы частной теории относительности, представление о квантовой механике, основные сведения из статистической физики).

### **1.3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате изучения дисциплины студент должен получить комплексную систему знаний о предмете и методах экспериментальной ядерной физики:

должен **знать**:

**З-ПК-2** Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.

**З-ПК-4** Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности

**З-ПК-8.1** знать нормы и правила ядерной и радиационной безопасности

**З-ПК-8.2** знать порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

В том числе:

- о статистическом характере природной и техногенной радиоактивности;
- о типах ядерного взаимодействия, радиоактивных превращениях;
- о характеристиках поля ионизирующего излучения и единицах их измерения,
- об основных закономерностях в процессе взаимодействия заряженных и незаряженных частиц с веществом;
- о принципах конструирования детекторов ядерного излучения;
- о методах проектирования исследовательской аппаратуры, способах компоновки блоков и узлов;
- об основных принципах построения модульных электронных систем;
- о принципах действия, характеристиках и возможностях многообразных электронных устройств, обеспечивающих осуществление анализа сигнала от применяемых в эксперименте детекторов;
- статистическую природу радиоактивного распада радиоактивных семейств;
- свойства и характеристики ионизирующих излучений;

должен **уметь** :

**У-ПК-2** Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области

**У-ПК-4** Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования.

**У-ПК-8.1** уметь проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений

**У-ПК-8.2** уметь создавать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках

В том числе:

- применять достижения в области ядерно-физических исследований в других областях знаний;
- планировать эксперименты по изучению ядерно-физических закономерностей;
- пользоваться современными методами обработки данных эксперимента;
- применять пакеты прикладных программ для обработки экспериментальных данных;
- квалифицированно выбирать, производить инженерный расчет и проектировать детекторы всех видов излучений.
- программировать работу электронной аппаратуры,

должен **владеть**:

**В-ПК-2** Владеть навыками выбора и применения оборудования, инструменты и методы исследований для решения в задач избранной предметной области

**В-ПК-4** Владеть навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности

**В-ПК-8.1** владеть навыками проведения экспериментов на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных

**В-ПК-8.2** владеть навыками обработки результатов исследований

В том числе:

- основами организации измерительно-вычислительного процесса.
- математическим аппаратом, позволяющим осуществлять предварительные оценки планируемого эксперимента;
- физическими методами регистрации излучения;
- методами обработки экспериментальных данных, оценки погрешностей эксперимента и расчетов характеристик полей излучения;

Курс «Экспериментальные методы» направлен на формирование следующих **профессиональных компетенций бакалавра по направлению подготовки 03.03.01 «Прикладные математика и физика»:**

**ПК-2** - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области

**ПК-4** - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования,

**ПК-8.1** - способен самостоятельно и в составе группы проводить научные исследования в области ядерной и радиационной физики с применением экспериментальных методов, методов имитационного моделирования, статистических методов обработки экспериментальных данных, методов компьютерного моделирования процессов и объектов.

**ПК-8.2** способен к участию в проведении измерений, выполнении экспериментов на ядерно- и электрофизических установках – источниках излучения, высоковольтном и измерительном оборудовании

## 1. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 ЗЕТ: 72 часа (16 часов лекции, 16 часов практических занятий, включая интерактивную форму обучения 6 часов, 40 часов СРС).

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (АЧ)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
		Лекции.	Практ. занятия/семинары, в т.ч. в интерактивной форме	Самостоятельная работа			
<b>1. Краткий обзор источников ядерных излучений.</b>	1	1	1				
1.1 Радиоактивные источники ядерных излучений (альфа, бета, гамма).							
1.2 Ускорители заряженных частиц (электростатические, циклические, линейные).	2	1	1	3			

1.3 Ускорители заряженных частиц (электростатические, циклические, линейные).							
<b>2. Краткий обзор процессов взаимодействия ядерных излучений с веществом.</b>	3	1	1	3			
2.1 Основные соотношения релятивистской механики							
2.2 Статистический характер взаимодействия ядерных излучений с веществом.							
2.3 Взаимодействие тяжелых заряженных частиц							
2.4 Взаимодействие электронов с веществом.	4	1	1		Обсуждение рефератов, участие в дискуссии		
2.5 Взаимодействие гамма-квантов с веществом.							
2.6 Взаимодействие нейтронов с веществом.							
<b>3. Классификация детекторов ядерных излучений.</b>	5	1	1	3			
3.1 Явления, используемые для регистрации ядерных излучений – ионизация, возбуждение света, тепловые и химические эффекты.							
3.2 Основные характеристики детекторов – функция отклика, временные характеристики, энергетическое разрешение, эффективность регистрации.							
3.3 Основные типы детекторов.							
<b>4. Газовые ионизационные детекторы.</b>	6	1	1	3			

4.1 Импульсные ионизационные камеры (плоскопараллельные, цилиндрические, сферические).							
4.2 Пропорциональные счетчики.	7	1	1		Практическая работа		10
4.3 Счетчики с самостоятельным разрядом.							
4.4 Плоскопараллельный лавинный детектор.							
<b>5. Полупроводниковые детекторы (ППД).</b>	8	1	1	4	Обсуждение рефератов, участие в дискуссии		
5.1 Преимущества ППД перед газовыми детекторами.							
5.2 Образование носителей в ППД под действием ионизирующих излучений.							
5.3 Флуктуация числа пар образованных носителей.	9	1	1				
5.4 Тепловые шумы. Обратные токи. Флуктуация числа пар собранных носителей.							
5.5 Энергетическое разрешение ППД. Временное разрешение. Форма линии..							
5.6 Радиационные повреждения и ресурс ППД.							
5.7 Современные ППД.							
<b>6. Сцинтилляционные счетчики.</b>	10	1	1	8			
6.1 Принцип работы сцинтилляционных счетчиков.							
6.2 Неорганические сцинтилляторы.							
6.3 Органические сцинтилляторы.							
6.4 Жидкие сцинтилляторы.	11	1	1				
6.5 Газовые сцинтилляторы.							

6.6 Пластические сцинтилляторы							
6.7 ФЭУ и их основные характеристики.							
6.8 Полупроводниковые фотоприемники.	12	1	1		Обсуждение рефератов, участие в дискуссии		
6.9 Характеристики сцинтилляционных счетчиков (форма импульса, временное и энергетическое разрешение, функция отклика).							
6.10 Современные сцинтилляционные материалы и детекторы.							
<b>7. Трековые детекторы.</b>	13	1	1	8			
7.1 Камеры Вильсона.							
7.2 Пузырьковые камеры.							
7.3 Ядерные фотоэмульсии.							
7.4 Искровые камеры.	14	1	1				
7.5 Твердотельные трековые детекторы.							
<b>8. Черенковские счетчики.</b>	15-16	2	2	3			
8.1 Излучение Вавилова-Черенкова.					Обсуждение рефератов, участие в дискуссии		
8.2 Материалы и характеристики черенковских счетчиков.					Практическая работа		
<b>9. Современные детектирующие системы</b>				5			
9.1 Эксперименты на БАК ALICE, ATLAS.							
9.2 Эксперименты NUSTAR, VASILISA (ОИЯИ).							
<b>Работа в семестре:</b>							
Самостоятельная работа	4,8,12,16						<b>30</b>
Практические работы	7,16						<b>20</b>
<b>Зачёт</b>	<b>17</b>		<b>2</b>				<b>50</b>
<b>Итоги за семестр</b>		<b>16</b>	<b>16</b>	<b>40</b>			<b>100</b>

## СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### **1. Краткий обзор источников ядерных излучений.**

Радиоактивные источники ядерных излучений (альфа, бета, гамма). Ускорители заряженных частиц (электростатические, циклические, линейные). Нейтронные источники (радиоактивные, на базе ускорителей, ядерный реактор, ядерный взрыв).

### **2. Краткий обзор процессов взаимодействия ядерных излучений с веществом.**

Статистический характер взаимодействия ядерных излучений с веществом. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц. Взаимодействие электронов. Взаимодействие гамма-квантов. Взаимодействие нейтронов.

### **3. Классификация детекторов ядерных излучений.**

Явления, используемые для регистрации ядерных излучений – ионизация, возбуждение света, тепловые и химические эффекты. Основные характеристики детекторов – функция отклика, временные характеристики, энергетическое разрешение, эффективность регистрации. Основные типы детекторов.

### **4. Газовые ионизационные детекторы.**

Основные типы детекторов. Импульсные ионизационные камеры (плоскопараллельные, цилиндрические, сферические). Пропорциональные счетчики. Газоразрядные счетчики. Плоскопараллельный лавинный детектор.

### **5. Полупроводниковые детекторы.**

Принцип действия. Преимущества перед газовыми детекторами. Образование носителей в полупроводнике под действием ионизирующих излучений. p-n и p-i-n переходы. Флуктуация числа пар образованных носителей. Тепловые шумы. Обратные токи. Флуктуация числа пар собранных носителей. Энергетическое разрешение ППД. Временное разрешение. Форма линии. Радиационные повреждения и ресурс ППД. Современные ППД.

### **6. Сцинтилляционные счетчики.**

Принцип работы сцинтилляционных счетчиков. Неорганические сцинтилляторы. Органические сцинтилляторы. Жидкие сцинтилляторы. Пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы. Фотоэлектронные умножители и их основные характеристики. Полупроводниковые фотоприемники. Характеристики сцинтилляционных счетчиков (форма импульса, временное и энергетическое разрешение, функция отклика). Современные сцинтилляционные материалы и детекторы.

### **7. Трековые детекторы.**

Камера Вильсона. Пузырьковые камеры. Ядерные фотоэмульсии. Искровые камеры. Твердотельные трековые детекторы.

### **8. Черенковские счетчики.**

Излучение Вавилова-Черенкова. Материалы черенковских счетчиков. Характеристики черенковских счетчиков.

### **9. Современные детектирующие системы**

Эксперименты на Большом адронном коллайдере LHC (ALICE, ATLAS).

Ядерная спектроскопия - эксперимент NUSTAR, VASILISA (ОИЯИ).

## ПЛАНЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	КОЛ. ЧАСОВ
1.	Задачи по теме - Статистический характер взаимодействия ядерных излучений с веществом	1
2.	Задачи по теме - Процессы взаимодействия ядерных излучений с веществом.	2
3.	Задачи по теме - Основные характеристики детекторов	1
4.	Задачи по теме - Газовые ионизационные детекторы.	1
5.	Задачи по теме - Полупроводниковые детекторы	2



6.	Задачи по теме - Сцинтилляционные счетчики.	1
7.	Задачи по теме - Трековые детекторы. Черенковские счетчики.	2

### 3.4 Интерактивные формы, используемые в реализации дисциплины

Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля
В соответствии с таблицей по структуре и содержанию дисциплины	обсуждение рефератов по темам, предложенным преподавателем, семинарские занятия, проводимые в форме дискуссии	6	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности студентов

#### 3.4.1 Учебно-методические материалы для реализации интерактивных форм обучения

##### Вопросы для обсуждения в форме дискуссии

№ п/п	Темы рефератов
1.	Плазменный фокус как источник излучения
2.	Синхротронное излучение
3.	Применение ЭМЯФ в археологии
4.	Применение ЭМЯФ в планетологии
5.	Применение ЭМЯФ в геофизике
6.	Активационный метод регистрации ИИ
7.	Ядерные фотоэмульсии как детекторы ИИ
8.	Детекторы прямой зарядки
9.	Микроканальные пластины и их применение
10.	Подвески ионизационных камер в энергетических ЯР
11.	Компьютерная томография
12.	Кристаллический детектор на основе алмаза
13.	Терморезисторы для регистрации ИИ
14.	Всеволновый детектор
15.	Калориметры (рентгеновское излучение, электроны)
16.	Спектрометрия R-излучения (фильтры Росса, поглощающие фильтры)
17.	Регистрация нейтрино
18.	Поиск темной материи

## 5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

### 5.1. ВИДЫ И ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;
- изучение литературы и подготовка к семинарскому занятию, проводимому в форме дискуссии;
- самостоятельное изучение тем, предложенных преподавателем;
- ответы на вопросы для обсуждения;
- решение задач;
- реферат;
- подготовка к зачету.

### 5.2. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ

Проверка рефератов, сданных преподавателю в письменной форме, доклад, проверка решения задач.

## 6 УРОВЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

*Текущий и итоговый контроль знаний студентов:*

- активность на всех видах занятий
- написание реферата, подготовка презентации и устный доклад, участие в дискуссии
- решение задач для самостоятельной работы;
- выполнение практических работ;
- сдача зачёта.

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса, консультирования студентов, проверки выполнения практических работ.

Формой промежуточной аттестации является зачет, который проводится в виде ответов на вопросы билетов.

Оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

**- работы в семестре:**

- оценки за выполнение двух практических работ;
- оценки за самостоятельную работу (решение задач для самостоятельной работы, написание реферата, подготовка презентации и устный доклад, участие в дискуссии);

и

**- оценки знаний в ходе зачета.**

Ориентировочное распределение баллов по видам работы

<i>№ п/п</i>	<i>Вид отчетности</i>	<i>Баллы</i>
1	Выполнение практических работ	20
2	Самостоятельная работа	30
3	зачет	50
4	Итого	100

Оценка знаний по 100-бальной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом

По зачету:

- 90 – 100 баллов – отлично
- 75 – 89 баллов – хорошо
- 60 – 74 баллов – удовлетворительно
- 0 – 59 баллов - неудовлетворительно

### Вопросы к зачету

Вопрос 1. Каким образом происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?

Вопрос 2. Приведите выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим выражением?

Вопрос 3. Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.

Вопрос 4. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины.

Вопрос 5. Что мы понимаем под термином «радиационные потери»? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его.

Вопрос 6. Каково соотношение ионизационных и радиационных потерь энергии? Что такое критическая энергия? Какова их зависимость от  $Z$  вещества и энергии частиц? Что такое радиационная длина?

Вопрос 7. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц, Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях.

Вопрос 8. Как сильно рассеяние электронов отличается от рассеяния тяжелых заряженных частиц? Какой закономерности подчиняется распределение электронов по углам рассеивания? Какие виды рассеивания электронов Вы знаете?

Вопрос 9. Объясните, что понимается под понятием «флуктуации длин пробегов». Какому закону подчиняется распределение пробегов тяжелых заряженных частиц? Примеры эмпирических зависимостей для пробега тяжелых заряженных частиц.

Вопрос 10. Расскажите об отличиях в пробегах при прохождении электронов через вещество по сравнению с прохождением тяжелых заряженных частиц. Что такое экстраполированный пробег и как он связан с энергией электронов? Приведите примеры эмпирических зависимостей для пробегов электронов.

Вопрос 11. Общие замечания о взаимодействии  $\gamma$ -квантов с веществом в отличие от взаимодействия заряженных частиц. Основные процессы взаимодействия и закономерность прохождения  $\gamma$ -квантов через вещество?

Вопрос 12. На каком принципе действия осуществляется работа ионизационной камеры? Нарисуйте вольт-амперную характеристику и укажите рабочую область ионизационной камеры при постоянной ионизации. Объясните поведение данной характеристики. Зависимость тока насыщения от ионизации.

Вопрос 13. Какими существенными конструктивными признаками различаются ионизационные камеры, предназначенные для работы с  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучениями? Приведите примеры.

Вопрос 14. Импульсная ионизационная камера. Расскажите о работе ионизационной камеры в импульсном режиме. Индукционный эффект и меры по его устранению.

Вопрос 15. Каким образом осуществляется работа пропорционального счетчика? Какие основные принципы заложены в конструкцию пропорционального счетчика (геометрия; газовое наполнение; газовое усиление)? Укажите на вольт-амперной характеристике рабочую область пропорционального счетчика.

Вопрос 16. Принцип действия несамогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера. Каким образом осуществляется гашение разряда и за какое время?

Вопрос 17. Что Вы знаете о самогасящихся счетчиках? За счет какого физического эффекта происходит гашение разряда и за какое время?

Вопрос 18. Какова форма импульса в самогасящемся счетчике, как она зависит от места первичной ионизации и за счет каких компонент разряда она образуется?

Вопрос 19. Мертвое время и время восстановления: от каких параметров конструкции самогасящегося счетчика они зависят? Как влияет скорость счета на эти характеристики? Просчеты из-за мертвого времени.

Вопрос 20. Счетная характеристика самогасящегося счетчика: благодаря каким факторам возникают ложные импульсы и каков их вклад?

Вопрос 21. Расскажите об эффективности регистрации газоразрядными счетчиками заряженных частиц,  $\gamma$ -излучения и нейтронов. Какие меры необходимо предпринять, чтобы увеличить эффект их регистрации?

Вопрос 22. Сцинтилляционный метод. Принцип работы сцинтилляционного детектора. Неорганические сцинтилляторы, состав и характеристики.

Вопрос 23. Органические сцинтилляторы. Состав и физико-химические характеристики. Процесс сцинтилляций.

Вопрос 24. Модель центра свечения. Конфигурационные кривые и спектры высвечивания. Резонансное излучение. Реабсорбция.

Вопрос 25. Внутреннее тушение. Сместители спектра. Оптическая и термическая активация.

Вопрос 26. Свойства органических кристаллов. Кристаллические, жидкие и пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы.

Вопрос 27. Фотоэлектронные умножители. Элементы ФЭУ. Фотокатод и его параметры (спектральная чувствительность, интегральная чувствительность, конверсионная эффективность), процесс утомления фотокатодов.

Вопрос 28. Входная камера ФЭУ. Динодная система. Коэффициент вторичной электронной эмиссии. Форма динодов ФЭУ.

Вопрос 29. Коэффициент усиления ФЭУ. Объемный заряд и шумы ФЭУ.

Вопрос 30. Характеристики сцинтилляционных счетчиков. Схема включения и форма импульса. Временное и энергетическое разрешение. Амплитудное распределение импульсов. Эффективность регистрации.

Вопрос 31. На каком принципе осуществляется работа Черенковских счетчиков. Энергетический порог излучения. Как зависят потери на излучение от атомного номера  $Z$  среды?

Вопрос 32. Какие конструкции детекторов Вавилова-Черенкова Вы знаете? Какие вещества применяют в качестве радиаторов для этих детекторов?

Вопрос 33. Принцип действия полупроводникового детектора. Что общего имеют и чем отличаются полупроводниковые детекторы от ионизационных камер? Нарисуйте зонные модели металла и полупроводника. Опишите кратко работу полупроводникового детектора.

Вопрос 34. Расскажите об основных свойствах полупроводниковых материалов и образовании носителей под действием излучения. Дырки и электроны. Полупроводники с собственной проводимостью. Доноры и акцепторы. Компенсированные полупроводники. Образование ловушек в полупроводниках.

Вопрос 35. Расскажите о счетчиках с p-n переходом. Как образуется объемный заряд и какую роль он играет при детектировании частиц? Прямое и обратное смещение. Свободные носители. Обедненный слой и его толщина.

Вопрос 36. Расскажите о счетчиках с p-i-n переходом. Распределение объемного заряда. За счет чего в этих детекторах увеличивается чувствительный слой (укажите еще его другое название)? Токи утечки.

Вопрос 37. Энергетическое и временное разрешение ППД. Форма импульса и форма линии ППД. Применение ППД для решения практических задач.

Вопрос 38. Расскажите об устройстве камеры Вильсона и физических принципах ее работы.

Вопрос 39. Цикл работы камеры Вильсона. Каким образом регистрируется частица в камере и с какой точностью?

Вопрос 40. Ядерные фотоэмульсии. Основные представления о фотографическом процессе.

Вопрос 41. Особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом ядерной эмульсии. Определение пробегов и энергии частиц. Толщина слоев ядерной фотоэмульсии.

Вопрос 42. Принцип действия искровой камеры. Механизм пробоя в газе между двумя плоскими электродами. Проволочная искровая камера. Методы съема информации.

Вопрос 43. Стримерная камера и особенности ее конструкции. Наполнение камеры. Временные характеристики. Способы получения информации.

Вопрос 44. Многодетекторные системы: телескоп и годоскопы.

Вопрос 45. Сцинтилляционные  $\gamma$ -спектрометры. Однокристалльные сцинтилляционные  $\gamma$ -спектрометры (общие понятия).

Вопрос 46. Аппаратурная форма линии сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра. Физические процессы, приводящие к формированию наиболее характерных участков АФЛ.

Вопрос 46. Способы улучшения формы аппаратурной линии  $\gamma$ -спектрометра.

Вопрос 47. Градуировочная характеристика спектрометра по энергии. Образцовые источники для градуировки  $\gamma$ -спектрометров.

Вопрос 48. Примеры применения детекторов: Детекторы в медицине; применение в геофизике; применение в космических исследованиях.

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по подготовке студентов для направления (специальности) 03.03.01 «Прикладные математика и физика» реализация компетентного подхода к обучению предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и **интерактивных** форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, выполняют лабораторные работы, готовят семинары, выполняют домашние задания. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Том 1,2, 3. СПб: ЛАНЬ, 2008.
2. С.Н. Абрамович. Физика атомного ядра. Саров – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2005.
3. Бояркин О.М. Введение в физику элементарных частиц. М.: КомКнига, 2010.
4. Адамс Ф., Лафлин Г. Пять возрастов Вселенной. Москва-Ижевск, Институт компьютерных исследований. 2006.
5. Хван Н.П. Неистовая Вселенная. М.: ЛЕЛАНД, 2006, 408 с.
6. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. М.: КомКнига, 2006.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. С.Н. Абрамович. Лабораторный практикум по курсу «Ядерная физика». Саров, Саранск, 2003.
2. Дж. Блатт, В. Вайскопф. Теоретическая ядерная физика. М.:ИЛ, 1954.
3. В.В. Малахов. Основы теории атомного ядра. М.: ГФМЛ, 1959.
4. А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. М.: Наука, 1966.
5. Н.А. Варганов, П.С. Самойлов. Практические методы сцинтилляционной спектроскопии. АТОМИЗДАТ, 1964.
6. Ю.К. Акимов, О.В. Игнатъев, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. МЭ: Энергоатомиздат, 1989.
7. Экспериментальная ядерная физика, под редакцией Э. Сегре, т. 1,2,3. М.: ИЛ, 1961.
8. Альфа-, бета-, гамма-спектроскопия, под редакцией К. Зигбана. М.:1971.
9. Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. М.: Бюро Квантум, 1995.
10. Кудрявцев. Курс истории физики. М.: Просвещение, 1982.
11. Ю.А.Храмов. Физики. Биографический справочник. М.: Наука, 1983.
12. Старосельская-Никитина О.А. История радиоактивности и возникновения ядерной физики. М.: Издательство АН СССР, 1963.

### ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерная физика
2. Известия РАН, серия физическая
3. Успехи физических наук
4. Журнал экспериментальной и теоретической физики
5. Приборы и техника эксперимента
6. Элементарные частицы и атомные ядра
7. Nuclear Physics
8. Physical Review C
9. Zeitschrift für Physik
10. Physical Review Letters
11. Physical Letters

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения. В качестве оборудования для проведения лабораторных работ (проводятся во время производственной практики) используются установки ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, в том числе ускоритель ЭГП-10, спектрометры  $\gamma$ -квантов и заряженных частиц, детекторы нейтронов, система ядерной электроники.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ)**

Изучение дисциплины «Экспериментальные методы» предполагает освоение материалов лекций, систематическую работу студентов в ходе проведения семинарских занятий, тестовых заданий, выполнение заданий для самостоятельной работы.

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекции используются студентами для подготовки к семинарским занятиям.

Целью семинарского занятия является рассмотрение основных и наиболее проблемных вопросов в рамках темы занятия, контроль за степенью усвоения студентами пройденного материала и ходом выполнения ими заданий самостоятельной работы. В ходе семинарских занятий закрепляются умения и навыки использования прослушанного в ходе лекций и самостоятельных работ материала, его дальнейшее осмысление с целью более глубокой увязки с общефизической картиной мира.

Задания для самостоятельной работы предусмотрены для закрепления и расширения знаний, умений и навыков, приобретенных в результате изучения дисциплины. Задания выполняются студентами в письменном виде во внеаудиторное время.

Работа должна носить творческий характер. При ее оценке учитывается обоснованность и оригинальность выводов. В письменной работе студент должен полно и всесторонне рассмотреть все аспекты задания, четко сформулировать и аргументировать свою позицию по исследуемым вопросам.

Преподавание дисциплины требует в каждой теме выделить наиболее важные, базовые моменты и сделать акцент на них.

## **Лист регистрации изменений**

