

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

---

*название дисциплины*

для студентов направления подготовки

**03.03.02 Физика**

---

направление/профиль

**Ядерно-физические технологии в медицине**

---

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Результаты освоения ООП <i>Содержание компетенций</i>	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-3	Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций. Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности.	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;</li> <li>• основные понятия экспериментальных методов ядерной физики, большинство из которых применяется в физике элементарных частиц: потери энергии частиц при прохождении через вещество, многократное рассеяние, тормозное излучение, фотоэффект, Комптоновское рассеяние, рождение пар.</li> <li>• основные детекторные методики, их параметры и особенности применения.</li> </ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• оценивать характерные физические величины детекторов элементарных частиц: точность измерения ионизационных потерь, точность измерения времени пролета сцинтилляционным счетчиком, энергетическое разрешение и д.р.. Уметь</li> </ul>

		<p>решать задачи, связанные с разработкой новых систем регистрации частиц.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• простейшими методами оценки процессов, происходящих при прохождении (регистрации) частиц в детекторах элементарных частиц</li> <li>• навыками проведения физических экспериментов по заданной методике;</li> <li>• основами компьютерных и информационных технологий;</li> <li>• научной терминологией.</li> </ul>
--	--	---

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина реализуется в рамках базовой части.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика», «Математика», «Ядерная физика».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Медико-биологические основы радиационной безопасности», «Безопасность жизнедеятельности», «Атомное право», «Основы радиационной химии», «Радиационная гигиена», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ядерного топливного цикла», выполнение научно-исследовательской работы, всех видов практики и выпускной квалификационной работы.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 6 семестре.

## 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид работы	Форма обучения
	Очная
	Семестр
	№6
	Количество часов на вид работы:
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>	

<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>64</b>
В том числе:	
<i>лекции</i> <i>(лекции в интерактивной форме)</i>	16
<i>практические занятия</i> <i>(практические занятия в интерактивной форме)</i>	16
<i>лабораторные занятия</i>	32
<b>Промежуточная аттестация</b>	
<i>зачет</i>	-
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>	<b>44</b>
В том числе:	
<i>Подготовка к семинарским занятиям</i>	10
<i>Подготовка к лабораторным работам</i>	10
<i>Подготовка ко всем видам контрольных испытаний</i> <i>текущего контроля успеваемости (контрольные работы,</i> <i>защита лабораторной работы)</i> <i>(в течение семестра)</i>	10
<i>Подготовка экзамену</i> <i>(Проработка конспекта лекций, учебников, учебных</i> <i>пособий и обязательной литературы)</i>	14
<b>Всего (часы):</b>	<b>108</b>
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>3</b>

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплиныВзаимодействие ядерного излучения с веществом	Виды учебной работы (в часах)				
		Очная форма обучения				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
<b>1.</b>	<b>Взаимодействие ядерного излучения с веществом</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
1.1.	Взаимодействие заряженных частиц с веществом Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом Взаимодействие электронов с веществом	2	2	-	-	2
1.2.	Взаимодействие фотонов высокой энергии с веществом Фотоэффект Комптон-эффект Образование электронно-позитронных пар Общий характер взаимодействия фотонов с веществом	2	2	8	-	6
1.3.	Взаимодействие нейтронов с веществом Рассеяние нейтронов ядрами Ядерные реакции Общие свойства детекторов					
<b>2.</b>	<b>Общие свойства детекторов</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>10</b>
2.1.	Эффективность регистрации	1	4	8	-	8
2.2.	Энергетическое разрешение детекторов	2	-	-	-	-
2.3.	Временные характеристики детекторов	1	2	-	-	2
<b>3.</b>	<b>Газоразрядные ионизационные детекторы</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>14</b>
3.1.	Движение ионов и электронов в газе при наличии внешнего электрического поля Скорость дрейфа ионов Скорость дрейфа электронов	-	2	-	-	2
3.2.	Ионизационные камеры Ионизационная камера в импульсном режиме Ионизационная камера в токовом режиме	-	2	8	-	6
3.3.	Ионизационные методы регистрации ядерных излучений с газовым усилением Пропорциональный счетчик Газоразрядный счетчик	-	2	8	-	6
<b>4.</b>	<b>Полупроводниковые детекторы</b>	<b>8</b>	<b>-</b>		<b>-</b>	<b>28</b>

4.1.	Основные свойства полупроводников	1	-	-	-	8
4.2.	Основные типы полупроводниковых детекторов p-n Переход Поверхностно-барьерный ППД Диффузионный ППД ППД с p-i-n-переходом	4	-	-	-	6
<b>5.</b>	<b>Сцинтилляционные детекторы</b>	<b>8</b>	<b>-</b>		<b>-</b>	<b>28</b>
5.1.	Сцинтилляторы Общие свойства сцинтилляторов Основные свойства органических сцинтилляторов Основные свойства неорганических сцинтилляторов	2	-	-	-	6
5.2.	Фотоэлектронные умножители					
5.3.	Форма импульса на выходе сцинтилляционного детектора					
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>60</b>

Прим.: Лек – лекции, Сем/Пр – семинары, практические занятия, Лаб – лабораторные занятия, СРО – самостоятельная работа обучающихся

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
<b>1.</b>	<b>Взаимодействие ядерного излучения с веществом</b>	
	Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом Взаимодействие электронов с веществом Взаимодействие фотонов высокой энергии с веществом Взаимодействие нейтронов с веществом	Термин ядерное излучение: протоны, $\alpha$ -частицы, $\beta$ -частицы, нейтроны, осколки деления тяжелых ядер, фотоны высоких энергий. Возбуждение и ионизация атомов и молекул среды. Радиационные потери. $\delta$ -электроны. Функция удельных потерь в веществе. Формула Бора. Линейный пробег.
<b>2.</b>	<b>Общие свойства детекторов</b>	
2.1.	Эффективность регистрации	Метод регистрации. Функция отклика детектора. Пропорциональные детекторы. Эффективность регистрации частиц.
2.2.	Энергетическое разрешение детекторов	Относительная мера энергетического разрешения детектора. Фактор Фано.
2.3.	Временные характеристики детекторов	Счетная система. Время релаксации «мертвое время». Просчеты.
<b>3.</b>	<b>Газоразрядные ионизационные детекторы</b>	
3.1.	Движение ионов и электронов в газе при наличии внешнего электрического поля	Принцип действия газоразрядных ионизационных детекторов. Режимы работы. Рекомбинация. Скорость дрейфа ионов. Скорость дрейфа электронов.
3.2.	Ионизационные камеры	Ионизационная камера в импульсном режиме. Постоянная времени цепи собирающего электрода.
3.3.	Ионизационные методы регистрации ядерных излучений с газовым усилением	Коэффициент ударной ионизации. Коэффициент газового усиления. Пропорциональный счетчик. Газоразрядный счетчик. Счетчик Гейгера.
<b>4.</b>	<b>Полупроводниковые детекторы</b>	
4.1.	Основные свойства полупроводников	Однородные и неоднородные ППД. Зонная теория кристаллов.
4.2.	Основные типы полупроводниковых	Фактор Фано для ППД. Ток утечки. $p$ - $n$ переход. Поверхностно-барьерный ППД. Диффузионный

	детекторов	ППД. ППД с <i>p-i-n</i> -переходом.
<b>5.</b>	<b>Сцинтилляционные детекторы</b>	
5.1.	Сцинтилляторы	Сцинтилляции, люминесценция. Общие свойства сцинтилляторов. Конверсионная эффективность. Техническая эффективность. Спектр частот излучения. Эффективность регистрации. Основные свойства органических и неорганических сцинтилляторов.
5.2.	Фотоэлектронные умножители	Назначение, устройство.
5.3.	Форма импульса на выходе сцинтилляционного детектора	Временные характеристики преобразования.

### *Лабораторные занятия*

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Название лабораторной работы
1.	Методы регистрации частиц и приборы	
2.	Прохождение адронов через вещество	
3.	Прохождение тяжелых частиц через вещество	
4.	Прохождение электронов через вещество	
5.	Прохождение $\gamma$ -квантов через вещество	

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Учебная аудитория для проведения занятий. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике.



## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### 6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
<b>Текущий контроль</b>			
1.	Раздел 1	ПК-3, ПК-8	Тест №1
2.	Раздел 2	ПК-3, ПК-8	Контрольная работа 1
3.	Раздел 3	ПК-3, ПК-8	Контрольная работа 2
4.	Раздел 4	ПК-3, ПК-8	Тест №2
<b>Промежуточный контроль</b>			
	Зачет	ПК-3, ПК-8	Зачетный билет

### 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы

#### 6.2.1. Зачет

а) типовые вопросы (задания):

1. Каким образом происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?
2. Приведите выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим выражением?
3. Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.
4. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины.
5. Что мы понимаем под термином «радиационные потери»? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его.
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?
7. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц, Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях.

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?
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.
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.
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?
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.
13. Какими существенными конструктивными признаками различаются ионизационные камеры, предназначенные для работы с  $\alpha$ -,  $\beta$ - ,  $\gamma$ -излучениями? Приведите примеры.
14. Импульсная ионизационная камера. Расскажите о работе ионизационной камеры в импульсном режиме. Индукционный эффект и меры по его устранению.
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.
16. Принцип действия несамогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера. Каким образом осуществляется гашение разряда и за какое время?
17. Что Вы знаете о самогасящихся счетчиках? За счет какого физического эффекта происходит гашение разряда и за какое время?
18. Какова форма импульса в самогасящемся счетчике, как она зависит от места первичной ионизации и за счет каких компонент разряда она образуется?
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.
20. Счетная характеристика самогасящегося счетчика: благодаря каким факторам возникают ложные импульсы и каков их вклад?

21. Расскажите об эффективности регистрации газоразрядными счетчиками заряженных частиц,  $\gamma$ -излучения и нейтронов. Какие меры необходимо предпринять, чтобы увеличить эффект их регистрации?
22. Сцинтилляционный метод. Принцип работы сцинтилляционного детектора. Неорганические сцинтилляторы, состав и характеристики.
23. Органические сцинтилляторы. Состав и физико–химические характеристики. Процесс сцинтилляций.
24. Модель центра свечения. Конфигурационные кривые и спектры высвечивания. Резонансное излучение. Реабсорбция.
25. Внутреннее тушение. Сместители спектра. Оптическая и термическая активация.
26. Свойства органических кристаллов. Кристаллические, жидкие и пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы.
27. Фотоэлектронные умножители. Элементы ФЭУ. Фотокатод и его параметры (спектральная чувствительность, интегральная чувствительность, конверсионная эффективность), процесс утомления фотокатодов.
28. Входная камера ФЭУ. Динодная система. Коэффициент вторичной электронной эмиссии. Форма динодов ФЭУ.
29. Коэффициент усиления ФЭУ. Объёмный заряд и шумы ФЭУ.
30. Характеристики сцинтилляционных счетчиков. Схема включения и форма импульса. Временное и энергетическое разрешение. Амплитудное распределение импульсов. Эффективность регистрации.
31. На каком принципе осуществляется работа Черенковских счетчиков. Энергетический порог излучения. Как зависят потери на излучение от атомного номера  $Z$  среды?
32. Какие конструкции детекторов Вавилова-Черенкова Вы знаете? Какие вещества применяют в качестве радиаторов для этих детекторов?
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.
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.
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.

36. Расскажите о счетчиках с р-і-п переходом. Распределение объёмного заряда. За счет чего в этих детекторах увеличивается чувствительный слой (укажите еще его другое название) ? Токи утечки.
37. Энергетическое и временное разрешение ППД. Форма импульса и форма линии ППД. Применение ППД для решения практических задач.
38. Расскажите об устройстве камеры Вильсона и физических принципах ее работы.
39. Цикл работы камеры Вильсона. Каким образом регистрируется частица в камере и с какой точностью?
40. Ядерные фотоэмульсии. Основные представления о фотографическом процессе.
41. Особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом ядерной эмульсии. Определение пробегов и энергии частиц. Толщина слоев ядерной фотоэмульсии.
42. Принцип действия искровой камеры. Механизм пробоя в газе между двумя плоскими электродами. Проволочная искровая камера. Методы съёма информации.
43. Стримерная камера и особенности ее конструкции. Наполнение камеры. Временные характеристики. Способы получения информации.
44. Многодетекторные системы: телескоп и годоскопы.
45. Сцинтилляционные  $\gamma$ -спектрометры. Однокристалльные сцинтилляционные  $\gamma$ -спектрометры (общие понятия).
46. Аппаратурная форма линии сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра. Физические процессы, приводящие к формированию наиболее характерных участков АФЛ.
47. Способы улучшения формы аппаратурной линии  $\gamma$ -спектрометра .
48. Градуировочная характеристика спектрометра по энергии. Образцовые источники для градуировки  $\gamma$ -спектрометров.
49. Примеры применения детекторов: Детекторы в медицине; применение в геофизике; применение в космических исследованиях.

### **6.2.5. Контрольная работа**

а) типовые задания (задачи) - образец:

1.  $\alpha$ -частица с кинетической энергией 40 МэВ проходит 1 см в воздухе при нормальных условиях. Оценить ионизационные потери.
2. Пороговый черенковский счетчик детектора КЕДР использует аэрогель с показателем преломления  $n=1.05$  (плотность  $0.234 \text{ г/см}^3$ ), толщина аэрогеля в счетчике 7 см. Оценить допороговую эффективность для каонов с энергией 1500 МэВ за счет образования  $\delta$ -электронов в аэрогеле.
3. Псион с кинетической энергией 1 ГэВ проходит 1 см воды. Найти относительные флуктуации ионизационных потерь.
4. Найти пробег пиона с энергией 10 МэВ в воздухе, зная, что для

нерелятивистской  $\alpha$ -частицы пробег в воздухе дается следующей формулой:  $R\alpha = 0.3T^{3/2}$ , где  $R$  измеряется в см, а  $T$  – в МэВ.

5. Пучок электронов с импульсом 1 ГэВ/с пролетает через магнитный спектрометр (дипольный магнит) состоящий из магнита длиной 1 метр и полем 1 Тл. Угол влета частиц постоянный. Оценить поперечное отклонение в магнитном поле на выходе из магнита, сравнить данное отклонение с характерным сдвигом за счет эффекта многократного рассеяния в воздухе.

6. Электрон с энергией 3 ГэВ пролетает через стальную мишень и излучает тормозные  $\gamma$  – кванты. Оценить толщину мишени, при которой средний угол многократного рассеяния электрона в мишени сравнится с характерным углом тормозного излучения.

7. Оценить поглощенную дозу в течении года от потока космических мюонов ( $10\text{--}2 \text{ см}^2 \cdot \text{с}$ ). Считать мюоны минимально ионизирующими частицами

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачете. Зачет проводится в конце семестра в зачетную неделю по билетам в устной форме. Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем.

Пример билетов к зачёту (всего 20 билетов):

#### **Билет 1.**

1. Ионизационные потери, формула Бете-Блоха, Эффект плотности, Плато Ферми,  $dE/dt \text{ min}$ .
2. Скорость дрейфа ионов и электронов в газе. Рекомбинация. Требование на сродство к электрону для газов, используемых в детекторах.

#### **Билет 2.**

1.  $\delta$ -электроны. Первичная и полная ионизация. Число  $\delta$ -электронов. Формула Резерфорда.
2. Счетчики с использованием черенковского угла. Дифференциальные счётчики. Счетчик Фитча. RICH. DIRC. Фокусирующий RICH.

#### **Билет 3.**

1. Флуктуации ионизационных потерь. Флуктуации Гаусса. Флуктуации Ландау. Флуктуации для сверхтонких слоев.
2. Пороговые счетчики. Основные материалы радиаторов излучения. Основные источники до пороговых срабатываний

#### **Билет 4.**

1. Многократное рассеяние. Среднеквадратичное значение угла. Формула Росси. Область применимости формулы Росси. Теория Мольера.
2. Черенковские детекторы. Открытие явления. Качественная природа явления. Основные свойства черенковского излучения. Черенковский угол. Интенсивность черенковского излучения. Поляризация.

#### **Билет 5.**

1. Функции распределения по углу при многократном рассеянии. Поперечное смещение.
2. Временное разрешение сцинтилляционного счетчика. Конечное время

высвечивания сцинтиллятора. Конечное время сбора света. ФЭУ. Разброс времени прохождения лавины усиления.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Контрольная работа считается выполненной при условии решения всех 5 предложенных заданий одного из вариантов.

в) описание шкалы оценивания:

Все решенные задания в каждом варианте суммарно оцениваются 20 баллами: каждое задание, в зависимости от степени решения задачи, оценивается: 1 задача – от 2 до 4 баллов.

### ***6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций***

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
	Тест №1	6	10
	Контрольная работа №1	12	20
	<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
	Тест №2	6	10
	Контрольная работа 2	12	20
Промежуточный	<b>Зачет</b>	<b>24</b>	<b>40</b>
	Вопросы к зачету	24	40
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

**Бонусы:** поощрительные баллы студент получает к своему рейтингу в конце семестра за активную и регулярную работу на занятиях.

По Положению бонус (премиальные баллы) не может превышать **5 баллов**.

**Штрафы:** за несвоевременную выполнение контрольных работ. Максимальная оценка может быть снижена на 2 балла – за каждую контрольную работу/тест, на 1 балл – за каждое пропущенное лекционное занятие.

Процедура оценивания знаний, умений, владений по дисциплине включает учет успешности по всем видам заявленных оценочных средств.

Тесты по разделам проводятся на лекционных занятиях и включают вопросы по предыдущему разделу.

Контрольные работы проводятся на семинарских занятиях.

Устный опрос проводится на каждом практическом и лабораторном занятиях совместно с проверкой домашних заданий (задач), и затрагивает как тематику прошедшего занятия, так и лекционный материал. Применяется групповое оценивание ответа или оценивание преподавателем.

По окончании освоения дисциплины выставляется *зачет* по результатам контрольных работ и тестов, а также обязательным условием получения зачета является наличие выполненных домашних задач, и наличие защиты отчетов по лабораторным работам. Это позволяет оценить совокупность приобретенных в процессе обучения компетенций. При выставлении итоговой оценки применяется балльно-рейтинговая система оценки результатов обучения.

Приведенные выше условия выставления *зачета* позволяют оценить работу обучающегося в течение всего срока изучения дисциплины и призваны выявить уровень, прочность и систематичность полученных обучающимся теоретических знаний и умений приводить примеры практического использования знаний (например, применять их в решении практических задач), приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления.

Оценка сформированности компетенций для *зачета* у обучающихся, которые пропускали занятия и не участвовали в проверке компетенций во время изучения дисциплины, проводится после индивидуального собеседования с преподавателем по пропущенным или не усвоенным обучающимся темам с последующей оценкой самостоятельно усвоенных знаний на зачете.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### ***а) основная учебная 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. Маляров. 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. Вартанов, П.С. Самойлов. Практические методы сцинтилляционной спектрометрии. АТОМИЗДАТ, 1964.
6. Ю.К. Акимов, О.В. Игнатьев, 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.
13. А.Ф. Бузулуцков. Современные экспериментальные методики в физике высоких энергий: учебно-методическое пособие по курсу лекций для магистрантов – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2009. – 30 с. – <https://hepdep.inp.nsk.su/docs-open/Lectures.pdf> (1)
14. Tanabashi et al. M. Passage of Particles Through Matter (review) / ParticleDataGroup // Phys. Rev. D, 2018. – V.98. – 030001. – <http://pdg.lbl.gov/2018/reviews/rpp2018-rev-passageparticles-matter.pdf>
15. Grupen, C. PARTICLE DETECTORS / C. Grupen and B. A. Shwartz. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 651p. – [http://kaf07.mephi.ru/eduroom/Books/Particle\\_Detectors\\_Grupen.pdf](http://kaf07.mephi.ru/eduroom/Books/Particle_Detectors_Grupen.pdf)

## 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

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины**



1. Электронно-библиотечная система IQlib: <http://www.iqlib.ru/>
2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань»: <http://e.lanbook.com>
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***По освоению лекционного материала, подготовке к лекциям***

Для записи конспектов лекций у обучающегося должна быть тетрадь желательно большого формата, так как в конспектах по дисциплине обязательно присутствуют рисунки, графики и чертежи. Эти элементы должны быть выполнены так, чтобы все детали были хорошо видны. Обычно лекция – это самое краткое изложение материала по данному вопросу. Если при записи конспекта вы что-то не успели записать – оставьте место, чтобы дописать потом. Конспект лекций необходимо проработать перед следующей лекцией, поставив вопросы там, где встречаются непонятные места. Ответы на эти вопросы следует найти в рекомендованной литературе или выяснить на консультации у преподавателя. Конспект лекций необходимо дополнять вставками, особенно по вопросам, вынесенным на самостоятельное изучение.

### ***По организации самостоятельной работы***

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа предполагает: чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины; работу с Интернет-источниками. Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе дисциплины. По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины, следует сначала прочитать рекомендованную литературу и, при необходимости, составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса. Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы

### ***Образовательные технологии, применяемые при организации внеаудиторной самостоятельной работы:***

1. Самостоятельная работа с книгой и конспектом лекций.
2. Самостоятельная работа с Интернет-ресурсами.
3. Самостоятельная работа по выполнению домашних работ.
4. Самостоятельная работа при подготовке к контрольным работам и сдаче отчетов по лабораторным работам.

***Для достаточного освоения теоретического материала по дисциплине,***

**студенты должны:**

- ознакомиться с перечнем вопросов, относящихся к каждой теме и изучить их по конспекту лекций с учетом заметок в собственном конспекте лекций;
- выбрать источник из списка литературы, если по данной теме недостаточно материала в конспекте лекций;
- проверить полученные теоретические знания на основе результатов выполненного домашнего задания, контрольных работ и ответов на вопросы к лабораторным работам.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Чтение лекций сопровождается слайд-презентациями, разработанными в среде Microsoft Office PowerPoint.

### **10.1. Перечень информационных технологий**

- сбор, хранение, систематизация и выдача учебной и научной информации;
- обработка текстовой, графической и эмпирической информации;
- самостоятельный поиск дополнительного учебного и научного материала, с использованием поисковых систем и сайтов сети Интернет, электронных энциклопедий и баз данных;
- использование электронной почты преподавателей и обучающихся для рассылки, переписки и обсуждения возникших учебных проблем.

### **10.2. Перечень программного обеспечения**

- Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель «Windows Media Player»).
- Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft Power Point»).

### **10.3. Перечень информационных справочных систем**

- Консультант Плюс – Справочно-правовая система (разработчик ЗАО «Консультант Плюс») – Нормативные документы.
- National Nuclear Data Center (<http://www.nndc.bnl.gov>)

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

- 11.1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной

аттестации с современными средствами демонстрации (мультимедийное оборудование), а также помещения для самостоятельной работы студентов.

- 11.2. Слайд-лекции по всем разделам дисциплины. Учебная дисциплина обеспечена учебно-методической документацией и материалами, указанными в разделе 7 данной рабочей программы.

## **12. Иные сведения и (или) материалы**

### ***12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине***

Для эффективной реализации целей и задач ФГОС ВПО, воплощения компетентностного подхода в преподавании используются следующие образовательные технологии и методы обучения. Образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины в аудитории (активные и интерактивные формы): лекции, консультации, индивидуальные работы, контрольные работы, в том числе активные формы: проблемная лекция, лекция по готовому конспекту, мозговой штурм, решение типовых задач, занятия по решению проблемных и творческих задач, контрольно-корректирующие занятия. Зачет выставляется после защиты лабораторных работ, сдачи контрольных работ, тестов, проверки наличия самостоятельной работы – решение текущих домашних задач по теме семинара.

При чтении лекций используется технология проблемного обучения (последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешая которые студенты активно усваивают знания). Курс построен на принципах системного подхода к отбору программного материала и определению последовательности его изучения студентами, что предусматривает глубокое изучение предметов за счет объединения занятий в блоки, т.е. реализуется технология концентрированного обучения. Для представления теоретического материала используются активные методы обучения. Лекции проводятся в традиционной и нетрадиционной форме. Все лекции представляют собой лекции – визуализации, с использованием мультимедийного проектора. Часть лекционного материала представляется в виде лекции-беседы, что позволяет концентрировать внимание студентов на особо значимых (важных) моментах учебного материала.

### **12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)**

**Самостоятельная работа реализуется:**

Непосредственно в процессе аудиторных занятий.

В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.

В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

### 12.3. Краткий терминологический словарь

**Акселератор:** Устройство, используемое для ускорения ионов или частиц до высоких энергий для проведения экспериментов в ядерной физике.

**Атом:**

Наименьшая часть химического элемента, способная к самостоятельному существованию и являющаяся носителем его свойств.

Каждому элементу соответствует определенный род атома, обозначаемый химическим символом этого элемента.

Атомы могут существовать в свободном состоянии в газах. В связанном состоянии атомы входят в состав молекул, соединяясь химически с атомами того же элемента или других элементов, и конденсированных тел.

Физические и химические свойства свободного атома определяются его составом и строением.

Атом состоит из электрически положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Принадлежность атома данному элементу определяется величиной заряда ядра  $+Ze$ . Число электронов в нейтральном атоме равно  $Z$ , их общий отрицательный заряд равен  $-Ze$ . Теряя электроны, нейтральный атом превращается в ионизированный атом - положительно заряженный ион, а после присоединения одного или нескольких электронов - в отрицательный ион. Число электронов, которое атом потерял (присоединил), определяет кратность иона.

Нейтральный атом обозначают символом элемента, для ионов к символу атома добавляют индексы справа сверху.

**Детектор:** Устройство, используемое для обнаружения и регистрации частиц, излучения или физических величин, связанных с ядерными реакциями или взаимодействиями.

**Калибровка:** Процесс установления соответствия между измеряемыми данными и известным стандартом для обеспечения точности и достоверности результатов эксперимента.

**Триггер:** Устройство или алгоритм, используемый для определения, когда активировать детекторы и начать запись данных в эксперименте.

**Событие:** Одиночная регистрация взаимодействия частиц или излучения в детекторе, которая может быть анализирована для извлечения информации о физической системе.

**Спектроскопия:** Измерение и анализ энергетических распределений частиц или фотонов, полученных в результате ядерных реакций, для изучения структуры и свойств атомных ядер.

**Классификация частиц:** Процесс идентификации различных частиц или излучений с использованием детекторов и методов анализа данных.

**Нейтронная активация:** Метод, при котором образец бомбардируется нейтронами для индуцирования ядерных реакций, в результате которых происходит изменение состава образца. Этот метод используется для анализа состава материалов.

**Упругое рассеяние:** Явление, при котором две частицы сталкиваются и отражаются друг от друга без изменения своих внутренних энергий.

**Баджетирование:** Метод определения энергии частицы путем измерения ее потери энергии в материале, через который она проходит.

**Гамма-спектроскопия:** Изучение характеристик и свойств гамма-излучения, в том числе энергии и интенсивности, для определения состава, структуры и процессов, связанных с атомными ядрами.

**Корреляционные методы:** Анализ зависимостей между различными физическими величинами или событиями с целью выявления закономерностей или связей между ними.

**Гелиоинкапсуляция:** Метод изучения ядерных реакций в экзотических ядрах путем захвата ионов в газовую среду, где они образуют комплексы с гелием и создают условия для изучения их свойств.


**Масс-спектрометрия:** Метод измерения массы и заряда частиц путем их разделения в магнитном или электрическом поле на основе отношения их массы к их заряду.

**Ядерная спектроскопия:**

Раздел экспериментальной ядерной физики, объединяющий методы исследования ядерных излучений:  $\alpha$ -,  $\beta$ -частиц,  $\gamma$ -квантов, электронов внутренней конверсии, а также протонов, нейтронов и других частиц, возникающих при радиоактивном распаде и в ядерных реакциях.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа дисциплины разработана в отделении биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

<p>Рассмотрена на заседании отделения биотехнологий и рекомендована к одобрению Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ</p> <p>(протокол № <u>9/1</u> от «<u>21</u>» <u>04</u> 20<u>23</u>г.)</p>	<p>Начальник отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ</p> <p> А.А. Котляров</p>
---	--