

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Дмитровградский инженерно-технологический институт -  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(ДИТИ НИЯУ МИФИ)

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Заместитель руководителя

\_\_\_\_\_ Т.И. Романовская  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.04.01 Динамика и безопасность ЯЭУ**

Специальность подготовки	<i>14.05.01 ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ И МАТЕРИАЛЫ</i>
Квалификация выпускника	<i>Инженер-физик</i>
Специализация	<i>Ядерные реакторы</i>
Форма обучения	<i>очная</i>
Выпускающая кафедра	<i>Ядерных реакторов и материалов</i>
Кафедра-разработчик рабочей программы	<i>Ядерных реакторов и материалов</i>

Семестр	Трудоемкость час. (ЗЕТ)	Лекций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз., час./зачет)
9	3(108)	17	17		74	зачет
A	5(180)	16	32		96	Экзамен, 36
<b>Итого</b>	<b>8</b>	<b>33</b>	<b>49</b>		<b>170</b>	<b>36</b>

Дмитровград  
2023 г.

# 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цели** освоения дисциплины: формирование знаний и умений, реализуемых в практической деятельности связанной с вопросами динамики и безопасности эксплуатации ядерного реактора. **Задачи:** освоение специалистами теоретических, инженерных вопросов, связанных с нестационарными процессами (динамикой) в реакторе, формирование понимания ими современных требований, способов обеспечения и методов анализа безопасности реакторов, а также развитие аналитической способности оператора для анализа нейтронно-физических и теплотехнических процессов в ЯР, их направленности, возможных вариантов и последствий, с целью принятия мер, предотвращающих развитие аварийной ситуации.

## 2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Динамика и безопасность ЯЭУ относится к вариативной (базовой или вариативной) части блока Б1 (блок 1, блок 2) профессионального модуля учебного плана.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания, получаемые студентами из курсов математического анализа, общей физики, теории переноса нейтронов, материаловедения, основ проектирования и конструирования ЯЭУ, умения работать с литературой, пользоваться отраслевыми стандартами, правилами и нормами радиационной безопасности, а также уметь классифицировать системы безопасности ядерного реактора, владение методами математического анализа и вероятностной оценки, численными методами анализа уравнений переноса нейтронов, а также основной терминологией.

Таблица 2.1 - Перечень предшествующих и последующих дисциплин, формирующих общекультурные и профессиональные компетенции

Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Общекультурные компетенции			
Профессиональные компетенции			
ПК-1	способностью создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов	Математический анализ Векторный и тензорный анализ Интегральные уравнения Линейная алгебра Обыкновенные дифференциальные уравнения Теория функций комплексного переменного Техническая термодинамика Гидродинамика и теплообмен Теория переноса нейтронов Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Теория переноса излучения Физическая теория реакторов Асимптотические методы в физике Высшие трансцендентные функции в физике	Надежность и безопасность ЯЭУ Методы проектирования Производственная практика
ПК-6	способностью самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические работы	Физика Физический практикум Атомная физика Химия и химический практикум	Надежность и безопасность ЯЭУ Методы проектирования Преддипломная НИР

	<p>тические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования</p>	<p>Теоретическая механика Экология Квантовая механика и статистическая физика Сопротивление материалов Численные методы Основы электротехники Электротехника и электроника Компьютерный практикум Ядерная физика Материаловедение: материалы ядерных установок Исследовательские реакторы Методы и приборы физических измерений Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, безопасность и экономичность ЯЭУ Основы алгоритмических языков программирования Асимптотические методы в физике</p>	<p>Итоговая государственная аттестация</p>
ПК-7	<p>способностью оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения</p>	<p>Ядерные технологии Методы анализа топливного цикла, внутренний топливный цикл Физическая теория реакторов Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, безопасность и экономичность ЯЭУ Дозиметрия и защита от излучения</p>	<p>Ядерные материалы: технологии и безопасность</p>
ПК-19	<p>способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам</p>	<p>Правовые и международные аспекты ядерного нераспространения Ядерные технологии Методы анализа топливного цикла, внутренний топливный цикл Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, безопасность и экономичность ЯЭУ</p>	<p>Методы проектирования</p>
ПСК-1.6	<p>способностью рассчитывать основные характеристики ядерных реакторов и энергетических установок</p>	<p>Теория переноса нейтронов Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Теория переноса излучения Физическая теория реакторов</p>	<p>Преддипломная практика Итоговая государственная аттестация</p>
ПСК-1.7	<p>способностью проводить нейтронно-физический и теплогидравлический расчет ядерных установок</p>	<p>Гидродинамика и теплообмен Теория переноса нейтронов Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Физическая теория реакторов Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, без-</p>	<p>Преддипломная НИР Итоговая государственная аттестация</p>

		опасность и экономичность ЯЭУ	
ПСК-1.9	способностью выбирать критерии безопасной работы ядерной установки и оценивать риски при эксплуатации	Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, безопасность и экономичность ЯЭУ	Надежность и безопасность ЯЭУ Производственная Преддипломная НИР Итоговая государственная аттестация
ПСК-1.10	готовностью к оценке ядерной и радиационной безопасности при проектировании ЯЭУ, а также средств и методов обеспечения безопасности ЯЭУ	Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, безопасность и экономичность ЯЭУ Ионизирующие излучения	Производственная практика Итоговая государственная аттестация
ПСК-1.12	готовностью использовать современные средства автоматического регулирования, управления и защиты ядерных установок	Система автоматического управления Физическая теория реакторов	Производственная практика

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов компетенций в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности).

Таблица 3.1 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Планируемые результаты освоения ОП (компетенции), достижение которых обеспечивает дисциплина*		Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
Код компетенции	Содержание компетенции	Знать: Уметь: Владеть:
ПК-1	способностью создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов	Знать: 31-Основные законы физики и математики, а также границы их применимости; 32- основные уравнения переноса нейтронов и законы распределения энерговыделения в активной зоне реактора  Уметь: применять знания для составления и решения дифференциальных и интегральных уравнений, а также систем уравнений. Владеть: навыками использования основных физических и математических законов
ПК-6	способностью самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета	Знать: основные физические законы и методы расчета Уметь: указать, какие законы описывают данное физическое явление или эффект, проводить измерения, а также рассчитывать их погрешность погрешности Владеть: навыками применения физических законов и работы с физическими величинами

	и исследования	нами
ПК-7	способностью оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения	Знать: основные и потенциальные опасности ядерных технологий и установок Уметь: анализировать системы безопасности Владеть: навыками расчета современных систем, приборов и устройств
ПК-19	способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам	Знать: основы законодательства обращения с радиоактивными источниками, а также санитарные правила и нормы радиационной безопасности Уметь: применять навыки работы с технической документацией, а также чтения чертежей Владеть: терминологией, применяемой в НРБ и СанПин
ПСК-1.6	способностью рассчитывать основные характеристики ядерных реакторов и энергетических установок	Знать: особенности конструкции тепловыделяющих элементов ядерных реакторов различных типов, основные материалы, используемые в реакторной технике, понятия тепловой и электрической мощности, температуры, паропроизводительности, давления, температуры, расхода теплоносителя. Уметь: работать с технической документацией, вести поиск по базам данных и системам универсальной десятичной классификации. Владеть: методами оценки мощности, расчета основных теплотехнических и нейтронно-физических параметров ЯЭУ
ПСК -1.7	способностью проводить нейтронно-физический и теплогидравлический расчет ядерных установок	Знать: основные нейтронно-физические процессы в активной зоне реактора, распределение энерговыделения, коэффициента неравномерности Уметь: оценивать скорость проходящих ядерных реакций, температуру, давление, расход теплоносителя и рабочего тела Владеть: методикой расчета теплотехнических и нейтронно-физических параметров ядерных установок
ПСК -1.9	способностью выбирать критерии безопасной работы ядерной установки и оценивать риски при эксплуатации	Знать: принципы построения глубокоэшелонированной защиты ядерных реакторов, а также основные риски эксплуатации ЯЭУ Уметь: применять полученные знания при работе ядерной энергетической установки на мощности Владеть: методами оценки риска
ПСК -1.10	готовностью к оценке ядерной и радиационной без-	Знать: особенности обеспечения ядерной и радиационной безопасности ядерного реак-

	опасности при проектировании ЯЭУ, а также средств и методов обеспечения безопасности ЯЭУ	тора и теплотехнической надежности активных зон Уметь: оценивать скорость протекания цепной реакции деления и энерговыделение при скачкообразном изменении мощности Владеть: методами оценки эффективности регулирующих и поглощающих элементов ядерного реактора
ПСК -1.12	готовностью использовать современные средства автоматического регулирования, управления и защиты ядерных установок	Знать: параметры, определяющие мощность реактора и скорость ее изменения, органы регулирования мощности реактора Уметь: строить дифференциальные и интегральные характеристики КС Владеть: методиками расчета критического положения КС

## 4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 8 зачетных единиц (ЗЕТ), 288 академических часов.

Таблица 4.1

**Объём дисциплины по видам учебных занятий (в соответствии с учебным планом)**

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. часов)	Семестр*			
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	8 (288)	9	А		
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>					
занятия лекционного типа		18	17		
занятия семинарского типа					
в том числе: семинары					
практические занятия		18	34		
практикумы					
лабораторные работы					
другие виды контактной работы					
в том числе: курсовое проектирование					
групповые консультации					
индивидуальные консультации					
иные виды внеаудиторной контактной работы					
<b>Самостоятельная работа обучающихся**:</b>	<b>165</b>	<b>72</b>	<b>93</b>		
изучение теоретического курса	165	72	93		
расчетно-графические задания, задачи					
реферат, эссе					
курсовое проектирование					
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет***, экзамен)</b>		зачет	Эк-за-мен		

### Распределение учебной нагрузки по разделам дисциплины

Таблица 4.2

№ модуля образовательной программы*	№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, акад. часы					Формируемые компетенции
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего часов	
	1	<b>Введение в курс физики реакторов</b> Нейтрон и деление ядер; история открытия. Свойства нейтрона. Особенности свойств нейтрона, благодаря которым он нашел широкое применение в науке и технике. Цепная реакция деления, атомная бомба и ядерные реакторы (ЯР). Современное использование ЯР и нейтронов: АЭС, нейтроны как инструмент для исследования вещества, медицина, новые материалы и др	2	2		10	14	ПСК -1.1 ПК-10 ПСК-1.6 ПК-1
	2	<b>Нейтронно-физические процессы в ядерном реакторе</b> Физика деления: механизм деления, энергия деления, нейтроны деления, делящиеся изотопы. Энергия связи нейтрона в ядре. Взаимодействие быстрых нейтронов с ядрами и веществом: типы ядерных реакций, уровни возбуждения ядра, нейтронные резонансы.	2	2		10	14	ПСК -1.10 ПСК -1.9 ПСК-1.6 ПК-1
	3	<b>Транспорт нейтронов.</b> Транспорт (перенос) нейтронов, понятия «замедление» и «диффузия». Замедление при упругом рассеянии: элементарный акт упругого рассеяния нейтрона на ядре (расчет потери энергии при однократном рассеянии, угловое распределение) . Многократное рассеяние (понятие «летаргии», энергетический спектр замедляющихся нейтронов, пространственное распределение, длина замедления, время замедления, «возраст» нейтрона).	3	3		10	16	ПСК -1.7 ПК-1 ПСК -1.10 ПК-6
	4	<b>Тепловые нейтроны и диффузия нейтронов</b> Тепловые нейтроны, распределение по энергиям. Уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов (вывод). Решение уравнения диффузии в бесконечной среде, длина диффузии и ее физический смысл. Пределы применимости диффузионного приближения. Длина диффузии и ее физический смысл, время диффузии (время «жизни» нейтронов). Диффузия в ограниченной среде, граничные условия. Понятие «экстраполированной длины». Диффузия в многозонной среде. Диффузионные константы для замедлителей.	3	3		10	16	ПК-1 ПК-7 ПСК-1.6 ПСК-1.7
	5	<b>Критичность ядерного реактора, методы расчета</b>	3	3		10	16	ПК-7 ПСК-1.6

		Расчет на критичность в диффузионном приближении, понятия геометрического и материального параметров. Расчет на критичность в диффузионно-возрастном приближении. Многогрупповой подход к расчету реактора. Численные методы. Метод статистических испытаний.						ПСК-1.7 ПСК-1.10
	6	Ядерный реактор как источник энергии и ионизирующих излучений. Энерговыделение в активной зоне.	3	3		11	17	ПК-1 ПК-6 ПСК-1.6 ПСК-1.9 ПСК-1.10
	7	<b>Кинетика и динамика реактора</b> Вывод уравнения «точечной» кинетики; понятие «реактивности», времени «жизни» нейтронов и поколения нейтронов. Запаздывающие нейтроны, их влияние на кинетику реактора. Уравнения кинетики с учетом запаздывающих нейтронов, понятия «реактивности» на мгновенных и на запаздывающих нейтронах. Решение уравнений кинетики при постоянной реактивности. Влияние «обратной связи», устойчивость реактора. Температурная обратная связь	4	6		26	36	ПСК -1.12 ПСК-1.10 ПСК-1.7 ПСК-1.6
	8	<b>Физические процессы, сопровождающие работу ядерного реактора.</b> Выгорание ядерного топлива. Воспроизводство ядерного топлива. Зашлаковывание ядерного топлива. Стационарное отравление ксеноном. Нестационарное отравление ксеноном – йодная яма. Стационарное отравление самарием. Нестационарное отравление самарием - прометиевый провал. Температурный эффект реактивности. Кампания реактора.	3	6		18	27	ПСК -1.12 ПСК-1.10 ПСК-1.6
	9	Управление ядерным реактором	3	6		15	24	ПСК -1.12 ПСК-1.10 ПСК -1.9
	10	Безопасность ядерного реактора	3	6		15	24	ПСК-1.9 ПСК-1.10 ПК-7
	11	Нейтронно-физические измерения в процессе эксплуатации реактора	3	6		15	24	ПК-6 ПСК-1.9
	12	Основы законодательства в области использования атомной энергии	3	6		15	24	ПК-19 ПК-7
<b>ИТОГО:</b>			<b>35</b>	<b>54</b>		<b>165</b>	<b>254</b>	

#### 4.2 Содержание дисциплины

Удельный вес проводимых в активных и интерактивных формах проведения аудиторных занятий по дисциплине составляет 90 %.

#### Лекционный курс

Таблица 4.3

№ лекции	Номер раздела	Тема лекции и перечень дидактических единиц*	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
1	1	Нейтрон и деление ядер;	1	1

		история открытия. Свойства нейтрона. Особенности свойств нейтрона, благодаря которым он нашел широкое применение в науке и технике.		
2	1	Цепная реакция деления, атомная бомба и ядерные реакторы (ЯР). Современное использование ЯР и нейтронов: АЭС, нейтроны как инструмент для исследования вещества, медицина, новые материалы и др	1	1
3	2	Физика деления: механизм деления, энергия деления, нейтроны деления, делящиеся изотопы. Энергия связи нейтрона в ядре.	1	1
4	2	Взаимодействие быстрых нейтронов с ядрами и веществом: типы ядерных реакций, уровни возбуждения ядра, нейтронные резонансы.	1	1
5	3	Транспорт (перенос) нейтронов, понятия «замедление» и «диффузия».	1	1
6	3	Замедление при упругом рассеянии: элементарный акт упругого рассеяния нейтрона на ядре (расчет потери энергии при однократном рассеянии, угловое распределение)	1	1
7	3	Многократное рассеяние (понятие «летаргии», энергетический спектр замедляющихся нейтронов, пространственное распределение, длина замедления, время замедления, «возраст нейтрона»).		1
8	4	Тепловые нейтроны, распределение по энергиям. Уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов (вывод)	1	1
9	4	Решение уравнения диффузии в бесконечной среде, длина диффузии и ее физический смысл. Пределы применимости диффузионного приближения.	1	1

		Длина диффузии и ее физический смысл, время диффузии (время «жизни» нейтронов).		
10	4	Диффузия в ограниченной среде, граничные условия. Понятие «экстраполированной длины». Диффузия в многозонной среде. Диффузионные константы для замедлителей.	1	1
11	5	Расчет на критичность в диффузионном приближении, понятия геометрического и материального параметров	1	1
12	5	Расчет на критичность в диффузионно-возрастном приближении.	1	1
13	5	Многогрупповой подход к расчету реактора. Численные методы. Метод статистических испытаний.	1	1
14	6	Ядерный реактор как источник энергии и ионизирующих излучений.	1	1
15	6	Энерговыделение в активной зоне.	1	1
16	6	Цепная реакция, коэффициент размножения.	1	1
17	7	Вывод уравнения «точечной» кинетики; понятие «реактивности», времени «жизни» нейтронов и поколения нейтронов.	1	1
18	7	Запаздывающие нейтроны, их влияние на кинетику реактора. Уравнения кинетики с учетом запаздывающих нейтронов, понятия «реактивности» на мгновенных и на запаздывающих нейтронах	1	1
19	7	Решение уравнений кинетики при постоянной реактивности	1	1
20	7	Влияние «обратной связи», устойчивость реактора. Температурная обратная связь.	1	1
21	8	Физические процессы, сопровождающие работу ядерного реактора. Выгорание ядерного топлива.	1	1

		Воспроизводство ядерного топлива. Зашлаковывание ядерного топлива.		
22	8	Стационарное отравление ксеноном. Нестационарное отравление ксеноном – йодная яма.	1	1
23	8	Нестационарное отравление самарием - прометиевый провал. Температурный эффект реактивности. Кампания реактора	1	1
24	9	Параметры, определяющие мощность реактора и скорость ее изменения. Подкритическое, критическое и надкритическое состояние реактора.	1	1
25	9	Единицы реактивности. Органы регулирования мощности реактора. Расчет критического положения КС.	1	1
26	9	Пуск ядерного реактора. Разогрев ядерного реактора. Работа на энергетическом уровне мощности. Остановка реактора. Остаточное энерговыделение. Расхолаживание реактора.	1	1
27	10	Безопасность ядерного реактора. Особенности ядерного реактора как источника энергии. Обеспечение ядерной безопасности реактора.	1	1
28	10	Обеспечение теплотехнической надежности активной зоны	1	1
29	10	Обеспечение радиационной безопасности.	1	1
30	11	Нейтронно-физические измерения в процессе эксплуатации реактора. Необходимый объем измерений. Определение критической загрузки.	1	1
31	11	Градуировка органов управления реактором. Построение дифференциальной и интегральных характеристик. Определение запаса подкритичности ЯР.	1	1
32	11	Определение мощност-	1	1

		ного и температурного эффектов и коэффициентов реактивности. Определение отравления реактора ксеноном. Уточнение кривой энерговыработки. Определение распределения энерговыделения. Уточнение физических характеристик органов регулирования.		
33	12	Общая характеристика области использования атомной энергии. Законодательство об использовании атомной энергии. Государственное регулирование ядерной и радиационной безопасности при ИАЭ.	1	1
34	12	Система нормативных документов при ИАЭ. Ответственность за нарушение законодательства об использовании атомной энергии.	1	1
35	12	Государственное лицензирование деятельности в области ИАЭ. Организация государственного надзора за ЯРБ, учетом и контролем ядерных материалов, физзащитой ядерных материалов и установок. Техническое регулирование в области ИАЭ.	1	1
Итого:			35	35

### Практические занятия

Таблица 4.4

№ Занятия	Номер раздела	Тема лекции и перечень дидактических единиц*	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
1	1	Нейтрон и деление ядер; история открытия. Свойства нейтрона. Особенности свойств нейтрона, благодаря которым он нашел широкое применение в науке и технике.	1	1
2	1	Цепная реакция деления, атомная бомба и ядерные реакторы (ЯР). Современное использование ЯР и	1	1

		нейтронов: АЭС, нейтроны как инструмент для исследования вещества, медицина, новые материалы и др		
3	2	Физика деления: механизм деления, энергия деления, нейтроны деления, делящиеся изотопы. Энергия связи нейтрона в ядре.	1	1
4	2	Взаимодействие быстрых нейтронов с ядрами и веществом: типы ядерных реакций, уровни возбуждения ядра, нейтронные резонансы.	1	1
5	3	Транспорт (перенос) нейтронов, понятия «замедление» и «диффузия».	1	1
6	3	Замедление при упругом рассеянии: элементарный акт упругого рассеяния нейтрона на ядре (расчет потери энергии при однократном рассеянии, угловое распределение )	1	1
7	3	Множественное рассеяние (понятие «летаргии», энергетический спектр замедляющихся нейтронов, пространственное распределение, длина замедления, время замедления, «возраст нейтрона»).		1
8	4	Тепловые нейтроны, распределение по энергиям. Уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов (вывод)	1	1
9	4	Решение уравнения диффузии в бесконечной среде, длина диффузии и ее физический смысл. Пределы применимости диффузионного приближения. Длина диффузии и ее физический смысл, время диффузии (время «жизни» нейтронов).	1	1
10	4	Диффузия в ограниченной среде, граничные условия. Понятие «экстраполированной длины». Диффузия в многозонной среде. Диффузионные константы	1	1

		для замедлителей.		
11	5	Расчет на критичность в диффузионном приближении, понятия геометрического и материального параметров	1	1
12	5	Расчет на критичность в диффузионно-возрастном приближении.	1	1
13	5	Многогрупповой подход к расчету реактора. Численные методы. Метод статистических испытаний.	1	1
14	6	Ядерный реактор как источник энергии и ионизирующих излучений.	1	1
15	6	Энерговыделение в активной зоне.	1	1
16	6	Цепная реакция, коэффициент размножения.	1	1
17	7	Вывод уравнения «точечной» кинетики; понятие «реактивности», времени «жизни» нейтронов и поколения нейтронов.	1	1
18	7	Запаздывающие нейтроны, их влияние на кинетику реактора. Уравнения кинетики с учетом запаздывающих нейтронов, понятия «реактивности» на мгновенных и на запаздывающих нейтронах	1	1
19	7	Решение уравнений кинетики при постоянной реактивности	2	1
20	7	Влияние «обратной связи», устойчивость реактора. Температурная обратная связь.	2	2
21	8	Физические процессы, сопровождающие работу ядерного реактора. Выгорание ядерного топлива. Воспроизводство ядерного топлива. Зашлаковывание ядерного топлива.	2	2
22	8	Стационарное отравление ксеноном. Нестационарное отравление ксеноном – йодная яма.	2	2
23	8	Нестационарное отравление самарием - прометиевый провал. Температур-	2	2

		ный эффект реактивности. Кампания реактора		
24	9	Параметры, определяющие мощность реактора и скорость ее изменения. Подкритическое, критическое и надкритическое состояние реактора.	2	2
25	9	Единицы реактивности. Органы регулирования мощности реактора. Расчет критического положения КС.	2	2
26	9	Пуск ядерного реактора. Разогрев ядерного реактора. Работа на энергетическом уровне мощности. Остановка реактора. Остаточное энерговыделение. Расхолаживание реактора.	2	2
27	10	Безопасность ядерного реактора. Особенности ядерного реактора как источника энергии. Обеспечение ядерной безопасности реактора.	2	2
28	10	Обеспечение теплотехнической надежности активной зоны	2	2
29	10	Обеспечение радиационной безопасности.	2	2
30	11	Нейтронно-физические измерения в процессе эксплуатации реактора. Необходимый объем измерений. Определение критической загрузки.	2	2
31	11	Градуировка органов управления реактором. Построение дифференциальной и интегральных характеристик. Определение запаса подкритичности ЯР.	2	2
32	11	Определение мощностного и температурного эффектов и коэффициентов реактивности. Определение отравления реактора ксеноном. Уточнение кривой энерговыработки. Определение распределения энерговыделения. Уточнение физических характеристик	2	2

		органов регулирования.		
33	12	Общая характеристика области использования атомной энергии. Законодательство об использовании атомной энергии. Государственное регулирование ядерной и радиационной безопасности при ИАЭ.	2	2
34	12	Система нормативных документов при ИАЭ. Ответственность за нарушение законодательства об использовании атомной энергии.	2	2
35	12	Государственное лицензирование деятельности в области ИАЭ. Организация государственного надзора за ЯРБ, учет и контролем ядерных материалов, физзащитой ядерных материалов и установок. Техническое регулирование в области ИАЭ.	2	2
Итого:			35	35

### Лабораторные работы

Таблица 4.5

№ занятия	Номер раздела	Наименование лабораторной работы и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
		<i>Учебным планом не предусмотрены</i>		
Итого:				

### Самостоятельная работа студента

Таблица 4.6

Раздел дисциплины	№ п/п	Вид самостоятельной работы студента (СРС) и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, часов
1	1.1	нейтрон и деление ядер	4
	1.2	цепная реакция деления	4
2	2.1	физика деления	4
	2.2	энергия связи нейтрона в ядре	4
3	3.1	понятия «замедление» и «диффузия».	4
	3.2	расчет потери энергии при однократном рассеянии	4
	3.3	понятие «летаргии», время замедления, «возраст» нейтрона»	4
4	4.1	уравнение диффузии	5

	4.2	решение уравнения диффузии в бесконечной среде	5
	4.3	диффузия в многозонной среде	5
5	5.1	понятия геометрического и материального параметров	4
	5.2	расчет на критичность в диффузионно-возрастном	5
	5.3	многогрупповой подход к расчету реактора.	4
6	6.1	ионизирующие излучения в ядерном реакторе	4
	6.2	ядерный реактор как источник энергии	4
	6.3	энерговыведение в активной зоне	4
7	7.1	уравнения «точечной» кинетики;	4
	7.2	запаздывающие нейтроны, их влияние на кинетику реактора	9
	7.3	реактивность на мгновенных и на запаздывающих нейтронах	9
	7.4	влияние обратных связей на устойчивость реактора	9
8	8.1	выгорание, воспроизводство и зашлаковывание ядерного топлива	9
	8.2	отравление реактора	9
	8.3	кампания реактора	9
9	9.1	Подготовка к письменному опросу и решение задач по теме: «Управление ядерным реактором»	13
10	10.1	Подготовка к коллоквиуму и решению задач по теме: «Безопасность ядерного реактора»	9
11	11.1	Подготовка к решению задач по теме: «Нейтронно-физические измерения в процессе эксплуатации реактора»	9
12	12.1	Подготовка к устному опросу по теме «Основы законодательства в области использования атомной энергии»	9
<b>ИТОГО:</b>			<b>165</b>

**Домашние задания, типовые расчеты и т.п. (при наличии в учебном плане)**

Учебным планом не предусмотрены

**Рефераты (при наличии в учебном плане)**

Учебным планом не предусмотрены

**Курсовые работы (проекты) по дисциплине (при наличии в учебном плане)**

Учебным планом не предусмотрены

## **5 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В ходе освоения дисциплины при проведении аудиторных занятий используются следующие образовательные технологии: лекции, практические занятия с использованием активных и интерактивных форм проведения занятий.

Интерактивное обучение реализуется как диалоговое обучение в ходе лекционных и практических занятий, что позволяет осуществлять взаимодействие между студентом и преподавателем, а также между самими студентами.

При выполнении практических работ преподаватель занимается лишь общей организацией и регулированием процесса интерактивного взаимодействия студентов в бригадах, на которые разбивается студенческая группа. Преподаватель, кроме того, готовит заранее необходимые задания и формулирует вопросы для успешной реализации заданий, даёт консультации, контролирует время и порядок выполнения намеченного плана практического занятия. При решении задач практического занятия, студентам приходится вступать в коммуникацию друг с другом, совместно решать поставленные задачи, преодолевать конфликты, находить общие точки соприкоснове-

ния, идти на компромиссы. В результате, практические занятия позволяют интегрировать теоретические знания и практические умения.

Достижение планируемых результатов освоения дисциплины осуществляется за счет использования следующих образовательных технологий:

1. Информационные технологии – при применении компьютеров для использования электронных версий учебников, учебных пособий, методических указаний, журнальных статей и нормативной документации;
2. Работа в команде – совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды.
3. Case-study - анализ реальных проблемных ситуаций, имевших место в ядерной энергетике и поиск вариантов лучших решений..

На всех видах контроля студент должен продемонстрировать стандартные профессиональные действия за счет самостоятельного добывания необходимых знаний, умений и компетенций для конкретной и ранее неизвестной ситуации, возникающей при эксплуатации реакторной техникию

Применяются вопросы с ветвлением допустимых решений, задачи на формирование прогноза, т.е. предполагаемых изменений в исходном объекте: «Что будет, если сделать то-то?».

При организации самостоятельной работы занятий используются методы самоуправляемой и самоконтролируемой познавательной деятельности через методы и технологии решения задач динамики и безопасности ЯЭУ.

## **6 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)**

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов ДИТИ НИЯУ МИФИ.

**Текущий контроль** студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем (ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- тестирование;
- устные и письменные опросы;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача тестов.

**Промежуточный контроль** студентов производится в следующих формах:

- тестирование;
- коллоквиумы;
- другие

**Итоговый контроль** по результатам семестров по дисциплине проходит в форме письменного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы и/или решения задач), зачета

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, перечислены в Приложении.

## 7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Таблица 7.1 - Обеспечение дисциплины основной и дополнительной литературой по дисциплине

N п/ п	Автор	Название	Место издания	Наименование издательства	Год издания	Количество экземпляров
<b>Основная литература</b>						
1	Наумов, В.И	Физические основы безопасности ядерных реакторов	Москва	НИЯУ МИФИ	2013	1 <a href="http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Naumov_Fizicheskie_osnovy_bezopasnosti_yadernyh_reaktorov_2013.pdf">http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Naumov_Fizicheskie_osnovy_bezopasnosti_yadernyh_reaktorov_2013.pdf</a>
2	Кудрявцев, Е.М.	Динамика, безопасность и надежность ЯЭУ	Москва	НИЯУ МИФИ	2008	1 <a href="http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/UMKD_Dinamika,_bezopasnost_i_nadezhnost_YaEU_Kudryavcev">http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/UMKD_Dinamika,_bezopasnost_i_nadezhnost_YaEU_Kudryavcev</a>
<b>Дополнительная литература</b>						
1	А. Н. Аблеев	Лабораторный практикум "Безопасность и надежность ЯЭУ"	Москва	НИЯУ МИФИ	2007	1 <a href="http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&amp;I21DBN=pdf&amp;P21DBN=BOOK&amp;path=book-mephi/Ableev_Laboratornyj_praktikum_Bezopasnost_2007&amp;page=1&amp;Z21ID=1460I5I9E1HP6M6T7D813">http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&amp;I21DBN=pdf&amp;P21DBN=BOOK&amp;path=book-mephi/Ableev_Laboratornyj_praktikum_Bezopasnost_2007&amp;page=1&amp;Z21ID=1460I5I9E1HP6M6T7D813</a>
2	Окунев В.С.	Нейтронно-физический расчет решетки ядерного реактора на основе газокинетической теории переноса.	Москва	Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана	2011	1 <a href="http://www.knigafund.ru/books/173964">http://www.knigafund.ru/books/173964</a>

3	Савандер, В.И	Физическая теория ядерных реакторов [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. И. Савандер, М. А. Увакин. - Москва : МИФИ. Ч.1 : Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур : учебное пособие для вузов,	Москва	НИЯУ МИФИ	2007	1  <a href="http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&amp;I21DBN=pdf&amp;P21DBN=BOOK&amp;path=book-mephi/Savander_Fizicheska ya_teoriya_yadernyh_reaktov_2007&amp;page=1&amp;Z21ID=1265I9IOEINP2M6T8D816">http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&amp;I21DBN=pdf&amp;P21DBN=BOOK&amp;path=book-mephi/Savander_Fizicheska ya_teoriya_yadernyh_reaktov_2007&amp;page=1&amp;Z21ID=1265I9IOEINP2M6T8D816</a>
---	---------------	---	--------	-----------	------	--

### **7.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://www.ditud.ru:2525/>( Электронная библиотека Димитровградского института технологии, управления и дизайна)
2. [library.mephi.ru/](http://library.mephi.ru/) (Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ)
3. [lanbook.com/ebs.php](http://lanbook.com/ebs.php) (Электронно-библиотечная система издательства «Лань»)

### **7.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

Чтение лекций с использованием слайд-презентаций и графических объектов, выводимых на экран при проведении занятий всех форм.

## **8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### 1. Лекционные занятия:

- комплект электронных презентаций/слайдов,
- аудитория 3-35, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
- наглядные пособия в виде отдельных электронных изделий.

### 2. Практические занятия (семинарского типа):

- аудитория 3-35, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
- пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы, графические редакторы),

### 3. Прочее:

- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,

## 9 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр 9

Информация о контр. точках	Текущий контроль(<=25) (ТК)							Промежуточный контроль (<=30) (ПК)		Форма итогового контроля
	ТК <sub>1</sub>	ТК <sub>2</sub>	ТК <sub>3</sub>	ТК <sub>4</sub>	ТК <sub>5</sub>	ТК <sub>6</sub>	ТК <sub>7</sub>	ПК <sub>1</sub>	ПК <sub>2</sub>	
форма контроля	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	Тест	Тест	Зачет
неделя сдачи	4	6	8	10	12	14	16	8	16	
макс. балл	5	6	4	5	2	6	2	15	15	40

Семестр А

Информация о контр. точках	Текущий контроль(<=25) (ТК)							Промежуточный контроль (<=30) (ПК)		Форма итогового контроля
	ТК <sub>1</sub>	ТК <sub>2</sub>	ТК <sub>3</sub>	ТК <sub>4</sub>	ТК <sub>5</sub>	ТК <sub>6</sub>	ТК <sub>7</sub>	ПК <sub>1</sub>	ПК <sub>2</sub>	
форма контроля	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ	Тест	Тест	Экзамен
неделя сдачи	4	6	8	10	12	14	16	8	16	
макс. балл	5	6	4	5	2	6	2	15	15	40

### Структура баллов, начисляемых студентам по результатам текущего контроля и промежуточного контроля

№ п/п	Наименование видов учебной работы	Начисляемое количество баллов (долей баллов)	Максимальное количество баллов по данному виду учебной работы
1	<b>Раздел 1</b>	2	
	<b>Текущий контроль 1:</b> а) выполнение теоретических заданий		2
2	<b>Раздел 2</b>		
	<b>Текущий контроль 2:</b> а) выполнение теоретических заданий б) выполнение практических работ	3	3

	<b>Раздел 3</b>	9	
3	<b>Текущий контроль 3:</b> а) выполнение теоретических заданий б) выполнение практических работ	3	3
	Посещение лекций	0,4балла за лекцию	4
	Посещение практических занятий	0,3 балла занятие	3
	<b>Промежуточный контроль по разделам 1-3.</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
	<b>Раздел 4</b>	2	
5	<b>Текущий контроль 4:</b> а) выполнение теоретических заданий б) выполнение практических работ	4	8
	<b>Разделы 5</b>		
6	<b>Текущий контроль 5:</b> а) выполнение теоретических заданий б) выполнение практических работ	3	6
7	Посещение лекций	0,4 балла за лекцию	2
8	Посещение практических занятий	0,4 балла за занятие	2
9	<b>Промежуточный контроль разделам 4-5</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
	<b>Разделы 6-7</b>		
10	<b>Текущий контроль 3:</b> а) выполнение теоретических заданий б) выполнение практических работ	8	8
	<b>Раздел 8</b>		
11	<b>Текущий контроль 8:</b> а) выполнение теоретических заданий б) выполнение практических работ в) выполнение расчетно-графических работ	6	6
	Посещение лекций	0,4балла за лекцию	4
	Посещение практических занятий	0,4 балла занятие	4
12	<b>Промежуточный контроль разделам 6-8</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
13	<b>ИТОГО БАЛЛОВ ЗА СЕМЕСТР:</b>		<b>55</b>

**Дополнения и изменения в рабочей программе  
дисциплины на 20\_\_/20\_\_ уч.г.**

Внесенные изменения на 20\_\_/20\_\_ учебный год

УТВЕРЖДАЮ

Декан \_\_\_\_\_ факультета

\_\_\_\_\_  
*(в состав которого входит кафедра-составитель)*

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

- 1) .....
- 2) .....

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на данный учебный год

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры

\_\_\_\_\_  
*(дата, номер протокола заседания кафедры, подпись зав. кафедрой).*

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой

\_\_\_\_\_  
*наименование кафедры      личная подпись      расшифровка подписи      дата*

Декан

\_\_\_\_\_  
*наименование факультета, где производится обучение,      личная подпись      расшифровка подписи      дата*

Начальник УМУ

\_\_\_\_\_  
*личная подпись      расшифровка подписи      дата*

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина «Динамика и безопасность ядерных энергетических установок» является вариативной частью профессионального модуля дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы. Дисциплина реализуется на физико-техническом факультете ДИТИ НИЯУ МИФИ кафедрой «Ядерные реакторы и материалы».

Дисциплина нацелена на формирование профессиональных компетенций ПК-1, ПК-6, ПК-7, ПК-19, ПСК -1.6, ПСК-1.7, ПСК-1.9, ПСК-1.10, ПСК-1.12 выпускника.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с нейтронно-физическими и теплогидравлическими процессами в активных зонах, сопровождающих работу реактора, а также вопросы управления и безопасности ядерных энергетических установок.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, коллоквиумы, самостоятельная работа студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме тестирования, устных и письменных вопросов, промежуточный контроль в форме коллоквиумов и тестирования и итоговый контроль в форме зачета и экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 254 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (35), практические (52) занятия и (165) самостоятельной работы студента.

### **Методические указания для самостоятельной работы обучающихся**

При изучении данного курса предполагается наличие у студента знаний в рамках стандартного курса ядерной физики и методов решения линейных дифференциальных уравнений. Хотя учебники по данной дисциплине имеются, тем не менее конспектирование большинства лекций необходимо последующей причине: комплекс знаний, излагаемых в данном курсе, охватывает более широкий круг вопросов, чем каждая из рекомендованных пособий, и в то же время изложение материала построено на упрощенном подходе, позволяющем студенту более легкое освоение материала без искажения качественной стороны вопросов.

Посещение семинаров необходимо для приобретения навыка решения практических задач динамики реакторов (в каждом экзаменационном билете есть такая задача). Для более глубокого изучения и самостоятельной работы лучше использовать рекомендуемую литературу.

Интернет имеет хороший ресурс информации только по ядерной энергетике (например, сайты <http://www.icjt.org/nukestat/index.html>, <http://www.world-nuclear.org/education/whyu.htm>) и др.); по физике реакторов есть англоязычные сайты, например, <http://www.nephy.chalmers.se/staff-pages/demaz/new/teaching/>; на русском языке

подходящих сайтов динамике и безопасности ядерных реакторов не имеется.

Для наглядного представления материала при чтении лекций используется около 300 слайдов. После каждой лекции можно получить у лектора электронные копии использованных слайдов. Кроме того, студентам предоставляются твердые копии таблиц, данных и графиков с данными, необходимыми при решении задач.

По каждой теме рекомендуется иметь краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания.

Владение курсом общей физики и квантовой механики, крайне желательно владение английским языком. Самостоятельное решение предлагаемых задач на качественное понимание учебного материала.

**Фонд оценочных средств дисциплины**

**Вопросы для подготовки к зачету и экзамену по дисциплине «Динамика и безопасность ЯЭУ»**

1. Перечислите свойства нейтронов, позволяющие им быть высокоэффективным инструментом для исследования различных веществ.
2. Опишите механизмы нейтронного активационного и нейтронного радиационного анализа.
3. Расскажите об источниках нейтронов в мире и в России.
4. Расскажите о перспективах развития нейтронных источников в России.
5. Расскажите о физических основах цепной реакции деления и самоподдерживающейся цепной реакцией.
6. В чем принципиальное отличие атомной бомбы и ядерного реактора.
7. как классифицируются ядерные реакторы по характеру использования
8. какие конструкции ядерных реакторов используются на территории Российской Федерации
9. Опишите классификацию ядерных реакторов по характеру использования (экспериментальные, исследовательские и т.п.)
10. Какие виды теплоносителей используются на реакторных установках.
11. Как описывается вынужденная вероятность деления ядра?
12. Как ведет себя сечение деления элемента с ростом  $Z$
13. Пример. Тепловые нейтроны с кинетической энергией - 0.025 эВ вызывают деление  $^{235}\text{U}$ , но не  $^{238}\text{U}$ . Почему?
14. Как описывает процесс деления жидкокапельная модель
15. Опишите стадии процесса деления
16. Дайте характеристики процессам мгновенного и запаздывающего энерговыделения
17. Расскажите про механизм образования запаздывающих нейтронов
18. Опишите распределения масс фрагментов при делении нейтронами урана-235
19. Опишите распределение энергии, высвобожденной при делении урана-235 тепловыми нейтронами.
20. Что такое делящиеся и пороговые ядра? В чем их отличие?
21. Дайте определение плотности потока и тока нейтронов
22. Что такое флюенс нейтронов. В каких единицах он измеряется
23. Объясните физический смысл дифференциальной плотности потока нейтронов, приведите размерность
24. Объясните физический смысл интегральной плотности тока нейтронов (модуля и направления)
25. Каков физический смысл микроскопического сечения взаимодействия, В каких единицах оно измеряется.
26. Какова связь полного и дифференциального сечения рассеяния
27. В чем состоит суть многогруппового диффузионного приближения. Для чего нужны групповые ядерно-физические константы.
28. Дайте определение понятию «диффузия» нейтронов
29. как оценивается коэффициент диффузии нейтронов
30. что такое транспортное макроскопическое сечение среды

31. Какой порядок энергии теплового движения ядер?
32. Зависит ли длительность процесса замедления от начальной энергии нейтрона?
33. В чем состоит суть многогруппового диффузионного приближения. Для чего нужны групповые ядерно-физические константы.
34. Как учитывается анизотропия рассеяния нейтронов на ядрах среды. Сформулируйте метод Нелкина учета анизотропии рассеяния на ядрах среды
35. Замедление нейтронов идет эффективнее на легких или тяжелых ядрах
36. Какой процесс называется термализацией нейтронов?
37. что такое длина диффузии?
38. Взаимодействуют ли друг с другом нейтронные поля, создаваемые точечными источниками?
39. Дайте определение длины пробега нейтронов
40. запишите закон Фика
41. запишите условия однозначного выбора решения уравнения диффузии в физических задачах
42. в чем смысл длины линейной экстраполяции плотности потока нейтронов в вакууме
43. запишите граничное условие на выпуклой границе среды с вакуумом для конечных и полубесконечных сред
44. запишите граничное условие на границе раздела сред с различными физическими свойствами
45. запишите граничное условие в окрестности внешних локализованных источников
46. запишите условие ограниченности и неотрицательности нейтронного поля в среде
47. запишите начальное условие в нестационарных задачах распределения плотности потока нейтронов
48. что такое «время жизни нейтронов»
49. поясните понятие длины диффузии
50. Дать определение  $\tau$  – возраста нейтронов.
51. Дать определение  $\tau^*$  – квадрата длины замедления нейтронов.
52. Почему возникла необходимость замены возраста нейтронов параметром  $\tau^*$ ?
53. В каких единицах измеряют  $\tau$  и  $\tau^*$ ?
54. Различаются ли  $\tau$  и  $\tau^*$ ? Если да, то в чем заключается различие и какова его величина?
55. Приведите основные константы замедлителей
56. Напишите дифференциальное уравнение нестационарной диффузии тепловых нейтронов.
57. Напишите общее решение дифференциального уравнения нестационарной диффузии тепловых нейтронов.
58. Приведите примеры наиболее используемых замедлителей нейтронов. Обоснуйте выбор этих материалов.
59. Что такое альбеда отражателя?
60. Подсчитать длину диффузии и время жизни тепловых нейтронов в графите, если альбеда равно 0,93, а наиболее вероятная скорость тепловых нейтронов  $2,2 \cdot 10^5$  см/сек. (Ответ: 50 см,  $1,3 \cdot 10^{-2}$  сек)
61. Подсчитать среднюю энергию и скорость нейтронов, находящихся в состоянии равновесия с атомами углерода при комнатной температуре (200С) (Ответ: 0,038эв; 2680 м/сек)
62. Определить скорость нейтронов с энергией 5 эв. Какова должна быть температура среды для того, чтобы нейтроны, находящиеся в тепловом равновесии со средой обладали в среднем такой энергией? (ответ:  $3,09 \cdot 10^6$  см/сек;  $3,8 \cdot 10^4$  0С)
63. Точечный источник тепловых нейтронов находится в замедлителе, в котором средний пробег до рассеяния равен  $\lambda_s$  и средний пробег до поглощения  $\lambda_a$ . Выразить через эти

величины средний квадрат расстояния, проходимого нейтроном от источника до места поглощения. (ответ:  $R^2 = 2 \cdot \lambda_s \cdot \lambda_a (1/(1/2/3A))$  )

Приложение 4  
к рабочей программе дисциплины  
«(наименование дисциплины)»

**Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 288 часов, из них 87 часов аудиторных занятий и 165 часов, отведенных на самостоятельную работу студента.

вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы.
Коллоквиум	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам .
Подготовка к экзамену (зачету)	При подготовке к экзамену (зачету) необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу.

