

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Димитровградский 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  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.02.02 Теория переноса нейтронов

---

Направление 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 промежуточ- ного контроля (экз., час./зачет)
6	144 (4)	17	17		74	экзамен (36)
<b>Итого</b>	<b>144 (4)</b>	<b>17</b>	<b>17</b>		<b>77</b>	<b>36</b>

Димитровград  
2020 г.

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цели** освоения дисциплины: формирование знаний и умений в области физической теории переноса нейтронов.

**Задачи:** освоение специалистами теоретических основ ядерной и нейтронной физики, состава и характеристик ядер, законов и характеристик радиоактивного распада, ядерных реакций и их особенностей, свойств нейтронов, формирование понимания ими основных понятий и положений теории переноса нейтронов в различных средах.

## 2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Теория переноса нейтронов относится к \_\_\_\_\_ вариативной \_\_\_\_\_ части блока \_\_\_\_\_ Б1 \_\_\_\_\_ профессионального \_\_\_\_\_ модуля учебного плана.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания, получаемые студентами из курсов математического анализа, общей физики, атомной физики, ядерной физики, уравнений математической физики, умения работать с литературой, владение методами математического анализа и вероятностной оценки, основами ядерной и атомной физики, а так же 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 теплопереноса 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	Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Теория переноса излучения Физическая теория реакторов Асимптотические методы в физике Высшие трансцендентные функции в физике Динамика и безопасность ЯЭУ Надежность и безопасность ЯЭУ Методы проектирования Производственная практика
ПК-2	готовностью к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования	Техническая термодинамика Гидродинамика и теплообмен	Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Теория переноса излучения Физическая теория реакторов Асимптотические методы в физике Методы проектирования

	тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и методик оценки количественных характеристик ядерных материалов		
ПК-3	способностью использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения	Физика Атомная физика Ядерная физика Техническая термодинамика Гидродинамика и теплообмен	Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Теория переноса излучения Физическая теория реакторов Учебная практика Производственная Преддипломная Итоговая государственная аттестация
ПСК-1.6	способностью рассчитывать основные характеристики ядерных реакторов и энергетических установок		Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Теория переноса излучения Физическая теория реакторов Динамика и безопасность ЯЭУ Преддипломная Итоговая государственная аттестация
ПСК-1.7	способностью проводить нейтронно-физический и теплогидравлический расчет ядерных установок	Гидродинамика и теплообмен	Инженерные расчеты и проектирование ЯУ Физическая теория реакторов Курсовой проект: проектирование и выбор оборудования ЯЭУ, безопасность и экономичность ЯЭУ Динамика и безопасность ЯЭУ Преддипломная НИР Итоговая государственная аттестация

*Приводятся предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование целевых компетенций в соответствии с матрицей компетенций ОП.*

### 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: основные законы физики и математики, а также границы их применимости; 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-2	готовностью к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и методик оценки количественных характеристик ядерных материалов	Знать: основные законы термодинамики и теплообмена, понятия тепловой и электрической мощности, температуры, паропроизводительности, давления, температуры, расхода теплоносителя. Уметь: указать, какие законы описывают данное физическое явление или эффект, оценивать температуру, давление, расход теплоносителя и рабочего тела. Владеть: навыками применения физических законов и работы с физическими величинами, методикой расчета тепло- и гидродинамических параметров.
ПК-3	способностью использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения	Знать: основные физические законы и методы расчета. Уметь: указать, какие законы описывают данное физическое явление или эффект, проводить измерения, а также рассчитывать их погрешности. Владеть: навыками применения физических законов и работы с физическими величинами.
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.
--	--	--

## 4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет \_\_\_\_\_ зачетных единиц (ЗЕТ), \_\_\_\_\_ 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>	4(144)	6			
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>					
занятия лекционного типа		16			
занятия семинарского типа					
в том числе: семинары		16			
практические занятия					
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>76</b>	<b>76</b>			
изучение теоретического курса	76	76			
расчетно-графические задания, задачи					
реферат, эссе					
курсовое проектирование					
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет***, экзамен)</b>					

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.</b> Основные понятия теории переноса нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов со средой (с ядрами среды). Рассматриваемый энергетический диапазон. Зависимость взаимодействия нейтронов от энергии частиц. Классификация нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов с веществом (в области энергий до (10-15) Мэв). Понятие сечения процесса взаимодействия нейтронов со средой. Виды взаимодействия: рассеяние нейтронов упругое (потенциальное), неупругое, поглощение, радиационный захват, деление. Ядерные реакции. Примеры. Механизм взаимодействия нейтронов со средой через составное ядро.	1	1		6	8	ПК-1 ПК-3
	2	<b>Основные характеристики распределения нейтронов в средах.</b> Поле нейтронов. Источники нейтронов. Функция источника нейтронов. Поточковые характеристики поля излучения: дифференциальная плотность потока нейтронов – интенсивность; интегральная плотность потока нейтронов. Флюенс нейтронов. Понятия и определения плотности потока и тока нейтронов. Плотность потока, интегральная плотность потока нейтронов. Плотность тока нейтронов. Связь между потоком и током нейтронов. Размерность. Примеры.	1	1		7	9	ПК-1 ПК-3 ПСК-1.7 ПСК-1.6
	3	<b>Взаимодействие нейтронов с веществом.</b> Виды и силы взаимодействия. Характер взаимодействия нейтронов с ядрами среды. Линейная теория переноса нейтронов – основные предположения. Сечения процессов взаимодействия: микроскопическое, макроскопическое. Размерность. Примеры. Виды взаимодействия нейтронов с ядрами среды: рассеяние – упругое и неупругое (потенциальное), поглощение; ядерные реакции. Полное микроскопическое сечение. Дифференциальное микроскопическое сечение. Индикатриса рассеяния. Косинус угла рассеяния. Физический смысл индикатрисы рассеяния. Размерность. Примеры. Ядерные концентрации. Макроскопические сечения: интегральное (полное), дифференциальное. Микроскопические и макроскопические	2	2		9	13	ПК-3 ПСК-1.7 ПСК-1.6

		сечения взаимодействия излучения со смесью веществ. Примеры.						
4		<b>Газокинетическая модель теории переноса нейтронов в размножающих средах.</b> Балансовое уравнение скоростей нейтронно-физических процессов в средах. Интегро-дифференциальное газокинетическое уравнение переноса нейтронов (одночастичное газокинетическое уравнение Больцмана). Вывод газокинетического уравнения переноса нейтронов. Особенности переноса нейтронов в размножающих средах. Границы применимости уравнения переноса нейтронов. Условия однозначного выбора решений газокинетического уравнения переноса в физических задачах. Постановка краевых условий на границах выпуклых и вогнутых тел. Постановка внутренних краевых условий на границах раздела сред (условия сопряжения).	2	2		8	12	ПК-2 ПК-3 ПСК-1.7
5		<b>Уравнение переноса нейтронов в различных геометриях.</b> Свойства симметрии решений уравнения переноса. Оператор Больцмана. Оператор (интеграл) столкновений. Оператор переноса. Операторная форма линейного уравнения переноса. Инвариантность оператора переноса относительно сдвига и инвариантных преобразований (поворотов и вращений). Специальные виды симметрии. Вид уравнения переноса нейтронов в плоской геометрии, сферической и цилиндрической геометриях.	2	1		7	10	ПК-1 ПК-3 ПСК-1.7
6		<b>Свойства линейного газокинетического оператора переноса.</b> Свойства оператора Больцмана: существование компактного обратного оператора – оператора функции Грина; структура спектра – точечный спектр, непрерывный и существенный спектр. Свойства оператора (интеграла) столкновений: ограниченность и полная непрерывность. Структура спектра оператора, разрешающего уравнение переноса. Операторное представление решений уравнения переноса. Свойства решений уравнения переноса: условия существования ведущего собственного значения и соответствующей собственной функции.	2	2		8	12	ПК-1 ПК-3 ПСК-1.7
7		<b>Методы решения уравнения переноса.</b> Односкоростное газокинетическое уравнение переноса. Схема решения уравнения переноса нейтронов в однородных средах. Однократно вырожденная индикатриса рассеяния. Метод Нелкина. Решение уравнения переноса в неоднородных средах. Постановка задачи в многозонных областях. Решение уравнения переноса в плоской геометрии.  Вид оператора переноса $\Omega \nabla$ в различных простых геометриях: плоской, сферической и цилиндрической.	1	2		6	9	ПК-1 ПК-3 ПСК-1.6 ПСК-1.7
8		<b>Интегральное уравнение Пайерлса.</b> Интегральная формулировка газокинетического уравнения переноса нейтронов. Эквивалентность интегро-дифференциальной и интегральной формулировок уравнения переноса. Решение ин-	1	1		6	8	ПК-1 ПК-3 ПСК-1.7

		тегрального уравнения Пайерлса для некоторых частных случаев. Учет анизотропии рассеяния от углов. Линейная зависимость индикатрисы рассеяния от углов. Основы метода вырожденных индикатрис рассеяния.						
	9	<b>Односкоростное газокинетическое уравнение переноса нейтронов.</b> Постановка некоторых задач односкоростной газокинетической теории переноса нейтронов. Методы их решения. Случай плоской симметрии плотности нейтронов. Односкоростная задача переноса нейтронов для размножающих сред. Методы решения простых задач теории переноса (плоскопараллельная, сферическая, цилиндрическая геометрия). Односкоростная задача теории переноса с плоской симметрией поля нейтронов и сферически симметричным рассеянием на ядрах среды. Метод Кейза (обобщенный метод разделения переменных).	2	2		7	11	ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПСК-1.7
	10	<b>Постановка краевых условий.</b> Проблема Милна. Постановка диффузионных условий на выпуклой границе среды с вакуумом и на границах раздела сред в многозонных задачах. Учет анизотропии рассеяния на ядрах среды. Понятие о $P_n$ - методе решения задач теории переноса нейтронов (метод сферических гармоник). $P_1$ - метод решения задач теории переноса. Постановка граничных условий в $P_n (P_1)$ - методе решения задач теории переноса нейтронов. Диффузионное приближение газокинетического уравнения переноса нейтронов. Условия применимости диффузионного приближения.	1	1		6	8	ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПСК-1.7
	11	<b>Учет энергетической зависимости.</b> Проблема учета энергетической зависимости сечений взаимодействия при решении уравнений теории переноса нейтронов в средах. Многогрупповой метод решения интегро-дифференциальных уравнений переноса нейтронов в средах. Многогрупповой $P_n (P_1)$ - метод решения задач теории переноса. Постановка граничных условий в многогрупповом $P_n (P_1)$ - методе решения задач теории переноса нейтронов. Многогрупповое диффузионное приближение в задачах теории переноса нейтронов в веществе.	1	1		6	8	ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПСК-1.6 ПСК-1.7
<b>ИТОГО:</b>			<b>16</b>	<b>16</b>		<b>76</b>	<b>108</b>	

\*указывается номер в случае, если есть модульный принцип построения дисциплин учебного плана

#### 4.2 Содержание дисциплины

Удельный вес проводимых в активных и интерактивных формах проведения аудиторных за-



нятий по дисциплине составляет \_\_\_\_\_ 100 \_\_\_\_ %.

### 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	<p>Введение. Основные понятия теории переноса нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов со средой (с ядрами среды). Рассматриваемый энергетический диапазон. Зависимость взаимодействия нейтронов от энергии частиц.</p> <p>Классификация нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов с веществом (в области энергий до (10-15) Мэв). Понятие сечения процесса взаимодействия нейтронов со средой. Виды взаимодействия: рассеяние нейтронов упругое (потенциальное), неупругое, поглощение, радиационный захват, деление. Ядерные реакции. Примеры. Механизм взаимодействия нейтронов со средой через составное ядро.</p>	1	1
2	2	<p>Основные характеристики распределения нейтронов в средах. Поле нейтронов. Источники нейтронов. Функция источника нейтронов. Поточные характеристики поля излучения: дифференциальная плотность потока нейтронов – интенсивность; интегральная плотность потока нейтронов. Флюенс нейтронов. Понятия и определения плотности потока и тока нейтронов. Плотность потока, интегральная плотность потока нейтронов. Плотность тока нейтронов. Связь между потоком и током нейтронов. Размерность. Примеры.</p>	1	1
3	3	<p>Взаимодействие нейтронов с веществом. Виды и силы взаимодействия. Характер взаимодействия нейтронов с ядрами среды. Линейная теория переноса нейтронов – основные предположения. Сечения процессов взаимодействия:</p>	1	1

		микроскопическое, макроскопическое. Размерность. Примеры. Виды взаимодействия нейтронов с ядрами среды: рассеяние – упругое и неупругое (потенциальное), поглощение; ядерные реакции.		
4	3	Полное микроскопическое сечение. Дифференциальное микроскопическое сечение. Индикатриса рассеяния. Косинус угла рассеяния. Физический смысл индикатрисы рассеяния. Размерность. Примеры. Ядерные концентрации. Макроскопические сечения: интегральное (полное), дифференциальное. Микроскопические и макроскопические сечения взаимодействия излучения со смесью веществ. Примеры.	1	1
5	4	Газокинетическая модель теории переноса нейтронов в неразмножающих средах. Балансовое уравнение скоростей нейтронно-физических процессов в средах. Интегро-дифференциальное газокинетическое уравнение переноса нейтронов (одночастичное газокинетическое уравнение Больцмана). Вывод газокинетического уравнения переноса нейтронов. Особенности переноса нейтронов в размножающих средах.	1	1
6	4	Границы применимости уравнения переноса нейтронов. Условия однозначного выбора решений газокинетического уравнения переноса в физических задачах. Постановка краевых условий на границах выпуклых и вогнутых тел. Постановка внутренних краевых условий на границах раздела сред (условия сопряжения).	1	1
7	5	Уравнение переноса нейтронов в различных геометриях. Свойства симметрии решений уравнения переноса. Оператор Больцмана. Оператор (интеграл) столкновений. Оператор переноса. Операторная форма линейного уравнения переноса.	1	1
8	5	Инвариантность оператора переноса относительно сдвига и инвариантных преобразова-	1	1

		ний (поворотов и вращений). Специальные виды симметрии. Вид уравнения переноса нейтронов в плоской геометрии, сферической и цилиндрической геометриях.		
9	6	Свойства линейного газокинетического оператора переноса. Свойства оператора Больцмана: существование компактного обратного оператора – оператора функции Грина; структура спектра – точечный спектр, непрерывный и существенный спектр. Свойства оператора (интеграла) столкновений: ограниченность и полная непрерывность. Структура спектра оператора, разрешающего уравнение переноса.	1	1
10	6	Операторное представление решений уравнения переноса. Свойства решений уравнения переноса: условия существования ведущего собственного значения и соответствующей собственной функции.	1	1
11	7	Методы решения уравнения переноса. Односкоростное газокинетическое уравнение переноса. Схема решения уравнения переноса нейтронов в однородных средах. Однократно вырожденная индикатриса рассеяния. Метод Нелкина. Решение уравнения переноса в неоднородных средах. Постановка задачи в многозонных областях. Решение уравнения переноса в плоской геометрии. Вид оператора переноса $\Omega \nabla$ в различных простых геометриях: плоской, сферической и цилиндрической.	1	1
12	8	Интегральное уравнение Пайерлса. Интегральная формулировка газокинетического уравнения переноса нейтронов. Эквивалентность интегро-дифференциальной и интегральной формулировок уравнения переноса. Решение интегрального уравнения Пайерлса для некоторых частных случаев. Учет анизотропии рассеяния от углов. Линейная зависимость индикатрисы от углов.	1	1

		трысы рассеяния от углов. Основы метода вырожденных индикатрис рассеяния.		
13	9	Односкоростное газокинетическое уравнение переноса нейтронов. Постановка некоторых задач односкоростной газокинетической теории переноса нейтронов. Методы их решения. Случай плоской симметрии плотности нейтронов. Односкоростная задача переноса нейтронов для размножающих сред. Методы решения простых задач теории переноса (плоскопараллельная, сферическая, цилиндрическая геометрия).	1	1
14	9	Односкоростная задача теории переноса с плоской симметрией поля нейтронов и сферически симметричным рассеянием на ядрах среды. Метод Кейза (обобщенный метод разделения переменных).	1	1
15	10	Постановка краевых условий. Проблема Милна. Постановка диффузионных условий на выпуклой границе среды с вакуумом и на границах раздела сред в многозонных задачах. Учет анизотропии рассеяния на ядрах среды. Понятие о $P_n$ - методе решения задач теории переноса нейтронов (метод сферических гармоник). $P_1$ - метод решения задач теории переноса. Постановка граничных условий в $P_n$ ( $P_1$ ) - методе решения задач теории переноса нейтронов. Диффузионное приближение газокинетического уравнения переноса нейтронов. Условия применимости диффузионного приближения.	1	1
16	11	Учет энергетической зависимости. Проблема учета энергетической зависимости сечений взаимодействия при решении уравнений теории переноса нейтронов в средах. Многогрупповой метод решения интегродифференциальных уравнений переноса нейтронов в средах. Многогрупповой $P_n$ ( $P_1$ ) -	1	1

		метод решения задач теории переноса. Постановка граничных условий в многогрупповом $P_n$ ( $P_1$ ) - методе решения задач теории переноса нейтронов. Многогрупповое диффузионное приближение в задачах теории переноса нейтронов в веществе.		
Итого:			16	16

### Практические занятия

Таблица 4.4

№ занятия	Номер раздела	Наименование практического занятия и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
1	1	Введение. Основные понятия теории переноса нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов со средой (с ядрами среды). Рассматриваемый энергетический диапазон. Зависимость взаимодействия нейтронов от энергии частиц. Классификация нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов с веществом (в области энергий до (10-15) Мэв). Понятие сечения процесса взаимодействия нейтронов со средой. Виды взаимодействия: рассеяние нейтронов упругое (потенциальное), неупругое, поглощение, радиационный захват, деление. Ядерные реакции. Примеры. Механизм взаимодействия нейтронов со средой через составное ядро.	1	1
2	2	Основные характеристики распределения нейтронов в средах. Поле нейтронов. Источники нейтронов. Функция источника нейтронов. Поточковые характеристики поля излучения: дифференциальная плотность потока нейтронов – интенсивность; интегральная плотность потока нейтронов. Флюенс нейтронов. Понятия и определения плотности потока и тока нейтронов. Плотность	1	1

		<p>потока, интегральная плотность потока нейтронов. Плотность тока нейтронов. Связь между потоком и током нейтронов. Размерность. Примеры.</p>		
3	3	<p>Взаимодействие нейтронов с веществом. Виды и силы взаимодействия. Характер взаимодействия нейтронов с ядрами среды. Линейная теория переноса нейтронов – основные предположения. Сечения процессов взаимодействия: микроскопическое, макроскопическое. Размерность. Примеры. Виды взаимодействия нейтронов с ядрами среды: рассеяние – упругое и неупругое (потенциальное), поглощение; ядерные реакции.</p>	1	1
4	3	<p>Полное микроскопическое сечение. Дифференциальное микроскопическое сечение. Индикатриса рассеяния. Косинус угла рассеяния. Физический смысл индикатрисы рассеяния. Размерность. Примеры. Ядерные концентрации. Макроскопические сечения: интегральное (полное), дифференциальное. Микроскопические и макроскопические сечения взаимодействия излучения со смесью веществ. Примеры.</p>	1	1
5	4	<p>Газокинетическая модель теории переноса нейтронов в размножающих средах. Балансовое уравнение скоростей нейтронно-физических процессов в средах. Интегро-дифференциальное газокинетическое уравнение переноса нейтронов (одночастичное газокинетическое уравнение Больцмана). Вывод газокинетического уравнения переноса нейтронов. Особенности переноса нейтронов в размножающих средах.</p>	1	1
6	4	<p>Границы применимости уравнения переноса нейтронов. Условия однозначного выбора решений газокинетического уравнения переноса в физических задачах.</p>	1	1

		Постановка краевых условий на границах выпуклых и вогнутых тел. Постановка внутренних краевых условий на границах раздела сред (условия сопряжения).		
7	5	Уравнение переноса нейтронов в различных геометриях. Свойства симметрии решений уравнения переноса. Оператор Больцмана. Оператор (интеграл) столкновений. Оператор переноса. Операторная форма линейного уравнения переноса. Инвариантность оператора переноса относительно сдвига и инвариантных преобразований (поворотов и вращений). Специальные виды симметрии. Вид уравнения переноса нейтронов в плоской геометрии, сферической и цилиндрической геометриях.	1	1
8	6	Свойства линейного газокINETического оператора переноса. Свойства оператора Больцмана: существование компактного обратного оператора – оператора функции Грина; структура спектра – точечный спектр, непрерывный и существенный спектр. Свойства оператора (интеграла) столкновений: ограниченность и полная непрерывность. Структура спектра оператора, разрешающего уравнение переноса.	1	1
9	6	Операторное представление решений уравнения переноса. Свойства решений уравнения переноса: условия существования ведущего собственного значения и соответствующей собственной функции.	1	1
10	7	Методы решения уравнения переноса. Односкоростное газокINETическое уравнение переноса. Схема решения уравнения переноса нейтронов в однородных средах. Однократно вырожденная индикатриса рассеяния. Метод Нелкина. Решение уравнения переноса в неоднородных средах.	1	1

11	7	Постановка задачи в многозонных областях. Решение уравнения переноса в плоской геометрии. Вид оператора переноса $\Omega V$ в различных простых геометриях: плоской, сферической и цилиндрической.	1	1
12	8	Интегральное уравнение Пайерлса. Интегральная формулировка газокинетического уравнения переноса нейтронов. Эквивалентность интегро-дифференциальной и интегральной формулировок уравнения переноса. Решение интегрального уравнения Пайерлса для некоторых частных случаев. Учет анизотропии рассеяния от углов. Линейная зависимость индикатрисы рассеяния от углов. Основы метода вырожденных индикатрис рассеяния.	1	1
13	9	Односкоростное газокинетическое уравнение переноса нейтронов. Постановка некоторых задач односкоростной газокинетической теории переноса нейтронов. Методы их решения. Случай плоской симметрии плотности нейтронов. Односкоростная задача переноса нейтронов для размножающих сред. Методы решения простых задач теории переноса (плоскопараллельная, сферическая, цилиндрическая геометрия).	1	1
14	9	Односкоростная задача теории переноса с плоской симметрией поля нейтронов и сферически симметричным рассеянием на ядрах среды. Метод Кейза (обобщенный метод разделения переменных).	1	1
15	10	Постановка краевых условий. Проблема Милна. Постановка диффузионных условий на выпуклой границе среды с вакуумом и на границах раздела сред в многозонных задачах. Учет анизотропии рассеяния на ядрах среды. Понятие о $P_n$ -методе решения задач тео-	1	1



		рии переноса нейтронов (метод сферических гармоник). $P_1$ - метод решения задач теории переноса. Постановка граничных условий в $P_n$ ( $P_1$ ) - методе решения задач теории переноса нейтронов. Диффузионное приближение газокинетического уравнения переноса нейтронов. Условия применимости диффузионного приближения.		
16	11	Учет энергетической зависимости. Проблема учета энергетической зависимости сечений взаимодействия при решении уравнений теории переноса нейтронов в средах. Многогрупповой метод решения интегродифференциальных уравнений переноса нейтронов в средах. Многогрупповой $P_n$ ( $P_1$ ) - метод решения задач теории переноса. Постановка граничных условий в многогрупповом $P_n$ ( $P_1$ ) - методе решения задач теории переноса нейтронов. Многогрупповое диффузионное приближение в задачах теории переноса нейтронов в веществе.	1	1
Итого:			16	16

### 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	понятия теории переноса нейтронов	3
	1.2	сечения процесса взаимодействия нейтронов со средой	3
2	2.1	поле нейтронов	3
	2.2	понятия и определения плотности потока и тока	3

		нейтронов	
3	3.1	взаимодействие нейтронов с веществом	3
	3.2	сечения процессов взаимодействия	3
	3.3	индикатриса рассеяния	3
4	4.1	газокинетическая модель теории переноса нейтронов	3
	4.2	вывод газокинетического уравнения теории переноса нейтронов	3
	4.3	постановка краевых условий	3
5	5.1	интеграл столкновений	3
	5.2	виды уравнения переноса нейтронов в разных геометриях	3
6	6.1	структура спектра	3
	6.2	операторное представление решений уравнения переноса нейтронов	3
	6.3	свойства операторов	3
7	7.1	методы решения уравнения переноса	3
	7.2	однократно вырожденная индикатриса рассеяния	3
	7.3	метод Нелкина	3
	7.4	решение уравнения переноса в неоднородных средах	3
8	8.1	интегральное уравнение Пайерлса	3
	8.2	эквивалентность интегро-дифференциальной и интегральной формулировок уравнения переноса	3
	8.3	учет анизотропии рассеяния, основы метода вырожденных индикатрис рассеяния	3
9	9.1	метод Кейза	3
10	10.1	$P_n$ - метод решения задач теории переноса нейтронов	4
11	11.1	многогрупповой метод решения интегро-дифференциальных уравнений переноса нейтронов в средах	3
<b>ИТОГО:</b>			<b>76</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 соприкосновения, 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 техники.

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 теории переноса нейтронов.

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

*Раздел включает описание форм входного, текущего, промежуточного и итогового контроля по дисциплине. Например:*

*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 лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- тестирование;
- письменные домашние задания;
- выполнение лабораторных работ;
- защита лабораторных работ;
- устные опросы;
- контрольные работы
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача тестов, отчетов к лабораторным работам и письменных домашних заданий.

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

- тестирование;
- контрольные работы;
- защита лабораторных работ (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).

*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

№ п/п	Автор	Название	Место издания	Наименование издательства	Год издания	Количество экземпляров
<b>Основная литература</b>						
1	Макин Р.С.	Нестационарная теория переноса.	Дмитровград	ДИТИ НИЯУ «МИФИ»	2012	<a href="http://library.mephi.ru/">library.mephi.ru//</a>
2	Смелов В.В.	Лекции по теории переноса нейтронов.	Новосибирск	НГУ	1970	<a href="http://library.mephi.ru/">library.mephi.ru//</a>
<b>Дополнительная литература</b>						
1	Макин Р.С.	Нелинейные задачи теории реакторов. Газокинетическое уравнение.	Дмитровград	УлГТУ-ДИТУД	2008	<a href="http://library.mephi.ru/">library.mephi.ru//</a>
2	Черчиньяни К.	Теория и приложения уравнения Больцмана.	Москва	М.: Мир	1978	<a href="http://library.mephi.ru/">library.mephi.ru//</a>
3	Кейз К., Цвайфель П.	Линейная теория переноса	Москва	М.: Мир	1972	<a href="http://library.mephi.ru/">library.mephi.ru//</a>

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

1. <http://www.ditud.ru:2525/> (Электронная библиотека Дмитровградского 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 УТЦ, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
- наглядные пособия в виде отдельных электронных изделий.

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

- аудитория УТЦ, 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

Информация о контр. точках	Текущий контроль( $\leq 25$ ) (ТК)							Промежуточный контроль ( $\leq 30$ ) (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

**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 «Теория переноса нейтронов» является базовой частью модуля дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы. Дисциплина реализуется на физико-техническом факультете ДИТИ НИЯУ МИФИ кафедрой (кафедрами) «Ядерные реакторы и материалы».

Дисциплина нацелена на формирование профессиональных компетенций ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПСК-1.6, ПСК-1.7 выпускника.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами теории переноса нейтронов, нейтронно-физические взаимодействия в различных средах.

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

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

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (16), практические (16) занятия и (76) самостоятельной работы студента.

**Методические указания для самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студентов основывается на конспектах лекций, прочитанных преподавателем, основной и дополнительной литературе. При необходимости студенты могут консультироваться с преподавателем по тематике дисциплины, а также по другим смежным дисциплинам.

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины  
«*(наименование дисциплины)*»

**Фонд оценочных средств дисциплины**

**Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часов, из них 32 часов аудиторных занятий и 76 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; помечать 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, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме.
Подготовка зачету (экзамену)	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу.