

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Утверждено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Физическая теория ядерных реакторов

---

*название дисциплины*

для направления подготовки

14.03.02 Ядерные физика и технологии

---

*код и название направления подготовки*

образовательная программа

Инновационные ядерные технологии

---

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2024 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины – обучить студентов особенностям физической теории различных типов реакторов и методам проведения нейтронно-физических расчётов.

Задачи дисциплины:

- Обучение студентов принципиальным основам цепной реакции деления, ее количественным характеристикам и происходящим изменениям в ядерном реакторе, требующим специальных решений при конструировании реактора.
- Дать представление об уравнениях переноса нейтронов и ценности нейтронов среды.
- Научить использовать уравнения кинетики для решения задач в области мощностей таких, которые практически не оказывают влияния на технологические параметры реактора (температуру, давление, положение стержней и т.п.) и для построения реактиметра.
- Формализовать обратные связи на основе коэффициентов реактивности и построение уравнений динамики на основе точечных уравнений кинетики.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) БАКАЛАВРИАТА

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части и относится к профессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Математический анализ.

Ядерная физика.

Теория переноса нейтронов.

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Перспективные методы получения и преобразования энергии.

Производственная практика: преддипломная практика.

Дисциплина изучается на 3-4 курсах в 6 и 7 семестрах.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Код компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-4	Способен к расчету и проектированию элементов систем в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами СИО	З-ПК-4 – знать типовые методики планирования и проектирования систем У-ПК-4 – уметь использовать стандартные средства автоматизации проектирования В-ПК-4 – владеть методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и

		установок в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO
ПК-17.1	Способен к инженерно-физическому сопровождению эксплуатации активной зоны реакторной установки	<p>З-ПК-17.1 – знать закономерности диффузии нейтронов в средах и распределения нейтронных полей в средах; закономерности замедления нейтронов и возраста нейтронов в среде; основные законы нейтронно-физического расчета; закономерности процесса термализации нейтронов и температуры нейтронного газа</p> <p>У-ПК-17.1 – уметь решать задачи применительно к реальным процессам; оценивать критические размеры и составы реактора АЭС; оценивать виды распределение нейтронов в размножающих средах</p> <p>В-ПК-17.1 – владеть навыками нейтронно-физического расчета реакторов на тепловых и быстрых нейтронах; оценками сечений взаимодействия материалов с нейтронами</p>

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Интеллектуальное воспитание	Формирование культуры умственного труда (В11)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования культуры умственного труда посредством вовлечения студентов в учебные исследовательские задания, курсовые работы и др.
Профессиональное воспитание	Формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за научно-технические достижения России, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2. Использование воспитательного</p>

		потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности за результаты исследований и их последствия, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечение в реальные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения <b>(B18)</b>	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка <b>(B19)</b>	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин, профессионального модуля для: <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские курсовые проекты.</li> </ul> 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства <b>(B20)</b>	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой
Профессиональное воспитание	Формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер	коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой

	<p>трудовой деятельности и неслужебного поведения <b>(B21)</b></p>	<p>деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепления рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</li> </ul>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Формирование творческого инженерного мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности <b>(B22)</b></p>	
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Формирование культуры информационной безопасности <b>(B23)</b></p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Формирование культуры ядерной и радиационной безопасности <b>(B24)</b></p>	<p>Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Формирование профессиональной ответственности в области разработки, а также применения современных методов, приборов и систем для достижения устойчивого развития мирных ядерных технологий, направленных на улучшение труда и жизни человека <b>(B25)</b></p>	

Профессиональное воспитание	Формирование ответственной позиции по применению ядерных технологий в свете сохранения окружающей среды для будущих поколений (B26)	
-----------------------------	---	--

**Организация интерактивных мероприятий и реализация специализированных заданий с воспитательным и социальным акцентом:**

- Объединениях, а также летних школах Atomcamp и пр.
- Организация и проведение мероприятий, направленных на вовлечение студентов в научную, научно-исследовательскую деятельность с 1 курса, в том числе научного турнира ИАТЭ НИЯУ МИФИ и др.
- Организация и проведение научно-просветительских мероприятий, в том числе развитие физического, математического, химического, хирургического, судебно-медицинского кружков и др.
- Организация и проведение турниров по интеллектуальным играм.
- Организация и проведение экскурсий, научно-практических конференций, форумов, круглых столов, вебинаров по проблемам ядерной и радиационной безопасности, экологии, а также вопросам технологического лидерства России в области ядерной энергетики.
- Организация научно-практических конференций, встреч с ведущими специалистами-практиками предприятий отрасли.
- Организация научно-практических конференций, круглых столов, встреч с учеными и ведущими специалистами отраслей реального сектора экономики; научно-проектной деятельности по вопросам технологического лидерства России.
- Поддержка и развитие клуба любителей интеллектуальной игры «Что? Где? Когда?»
- Поддержка и развитие Студенческого научного общества ИАТЭ НИЯУ МИФИ.
- Участие в Карьерном форуме «Старт карьеры».
- Участие в подготовке публикаций в международных и отечественных журналах.
- Участие в Программах научных стажировок, проводимых под эгидой ГК Росатома
- Участие в студенческих олимпиадах и студенческих конкурсах («Открытые международные студенческие Интернет олимпиады», Всероссийская студенческая олимпиада и др.), конкурсах профессионального мастерства, в том числе по стандартам WorldSkills, студенческих научных обществах.
- Участие в студенческих олимпиадах, хакатонах и конкурсах научных проектов, творческих мероприятиях, конкурсах профессионального мастерства, в том числе по стандартам WorldSkills в областях цифрового инжиниринга, информационной безопасности и системного анализа.
- Участие во Всероссийских конкурсах студенческих работ.

**5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Вид работы	Количество часов на вид работы по семестрам:		
	№ 6	№ 7	Всего

<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>96</b>
В том числе:			
<i>лекции</i>	32	32	64
<i>практические занятия</i>	16	16	32
<b>Промежуточная аттестация</b>			
В том числе:			
<i>экзамен</i>	36	36	72
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>48</b>
<b>Всего (часы):</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>216</b>
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

### 6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

Неделя	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы в часах				
		Очная форма обучения				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1-2	<b>1. Принципы работы ядерного реактора.</b>	4	2			4
	1.1. Мощность и количество делений.	1	0,5	0		1
	1.2. Энерговыведение на единицу массы сожженного топлива.	1	0,5	0		1
	1.3 .Накопление радиоактивности при работе реактора.	1	0,5	0		1
	1.4. Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.	1	0,5	0		1
3-4	<b>2. Цепной процесс деления.</b>	4	3			4
	2.1. Эффективный коэффициент размножения и реактивность.	1	1	0		1
	2.2. Расчет $k_{эфф}$ и $\rho$ через скорости процессов.	1	1	0		1
	2.3. Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.	1	1	0		1
	2.4. Примеры критических масс и размеров.	1	0	0		1
5-7	<b>3. Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора.</b>	6	4			4
	3.1. Односкоростные дифференциальные уравнения для расчета состава тяжелых ядер в функции времени и их решения.	1	1	0		1
	3.2. Динамика состава осколков деления во время работы реактора.	1	1	0		1
	3.3. Глубина выгорания топлива.	2	1	0		1
	3.4. Переходные процессы при отравлении реактора ядрами самария и ксенона, а также при изменениях концентрации нептуния.	2	1	0		1
8-9	<b>4. Воспроизводство ядерного топлива.</b>	4	2			4

	4.1. Принципиальная возможность воспроизводства, необходимые и достаточные условия	2	1	0		2
	4.2. Коэффициенты воспроизводства и их связь со временем удвоения развития мощностей.	2	1	0		2
10-12	<b>5. Обратные связи в реакторе.</b>	6	3			4
	5.1. Обратные связи атомной электростанции.	2	1	0		1
	5.2. Обратные связи ядерного реактора и их влияние на безопасность реактора.	2	1	0		1
	5.3. Естественные и рукотворные пассивные обратные связи (защитные свойства реакторов).	2	1	0		2
13-16	<b>6. Запас реактивности и его компенсация.</b>	8	2	0		4
	6.1. Необходимость иметь запас реактивности.	4	1	0		2
	6.2. Способы компенсации запаса реактивности.	4	1	0		2
	<b>Итого за 6 семестр:</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>0</b>		<b>24</b>
1-4	<b>7. Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.</b>	8	4			6
	7.1. Операторы УПН и сопряженные. Свойства операторов.	2	0	0		1,5
	7.2. Теория малых возмущений. Приближенные нахождения коэффициентов чувствительности.	2	2	0		1,5
	7.3. Общее, асимптотическое и условно-критическое решения УПН	2	0	0		1,5
	7.4. Формула обратных часов – связь реактивности и периода реактора.	2	2	0		1,5
5-8	<b>8. Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.</b>	8	4	0		6
	8.1. Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в плоском и цилиндрическом реакторах (гомогенный и «слоеный» реакторы).	2	1	0		2
	8.2. Эффективность отдельных поглощающих стержней. Эффективность системы стержней (приближение парной интерференции).	4	2	0		2
	8.3. Эффективности системы стержней и их зависимость от режима работы реакторов АЭС.	2	1	0		2
9-12	<b>9. Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.</b>	8	8	0		6
	9.1. Предпосылки к возможностям и практической ценности расчета.	4	0	0		3
	9.2. Вывод уравнений в групповом представлении. Рекуррентное соотношение.	4	8	0		3

13-16	<b>10. Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения переноса нейтронов и сопряженного условно-критического уравнения.</b>	8	0	0	6
	10.1. Необходимость уравнений, связывающих только плотность потока нейтронов и реактивность со временем.	2	0	0	2
	10.2. Совместное решение прямого и сопряженного уравнений для получения интегральных параметров. Физический смысл интегральных параметров.	2	0	0	2
	10.3. Разделение переменных и ограничения применения точечного уравнения кинетики.	4	0	0	2
	<b>Итого за 7 семестр:</b>	<b>32</b>	<b>16</b>		<b>24</b>
	<b>Всего:</b>	<b>64</b>	<b>32</b>		<b>66</b>

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная контактная работа, СРО – самостоятельная работа.

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

### Лекционный курс

№	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
<b>1.</b>	<b>Принципы работы ядерного реактора.</b>	
1.1.	Мощность и количество делений.	Цепная реакция деления. Баланс нейтронов. Понятие критической массы и критического размера реактора. Работа реактора в энергетическом режиме. Связь мощности и скорости делений. Локальное и пространственное распределение энергии, выделяемой при делении.
1.2.	Энерговыделение на единицу массы сожженного топлива.	Максимальное количество энергии, нормированное на один акт деления ядер, на единицу массы делящихся ядер, на единицу массы топлива, на единицу массы выгруженного топлива.
1.3.	Накопление радиоактивности при работе реактора.	Остаточное энерговыделение (требование резервирования энергопитания ГЦН), невозможность прекращения цепной реакции деления мгновенно. Графики остаточного энерговыделения приближенная формула Ву-Вигнера).
1.4.	Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.	Для вычисления различных нейтронно-физических характеристик требуются различные интегральные представления плотности потока нейтронов (спектр нейтронов, количество нейтронов, флюенс нейтронов).
<b>2.</b>	<b>Цепной процесс деления.</b>	
2.1.	Эффективный коэффициент размножения и реактивность.	Качественное описание цепной реакции деления Основные характеристики цепного процесса. Эффективный коэффициент размножения, $k_{эфф}$ , и $k_{00}$ (для бесконечно-протяженной среды). Общая запись для гомогенной системы с одногрупповыми сечениями. Более важно – отличие, $k_{эфф}$ от 1. Понятие реактивности.

2.2.	Расчет $k_{эфф}$ и $\rho$ через скорости процессов.	Наиболее общая формула для расчета $k_{эфф}$ и реактивности. Упрощенный расчет в одноклассовом представлении. Оценка предельных значений $k_{эфф}$ и $\rho$ . Примеры расчетных значений $k_{эфф}$ и $k_{00}$ .
2.3.	Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.	Идеология формулы. Пояснение сомножителей формулы для гомогенной модели. Расчетная формула вероятности избежать резонансного захвата. Влияние гетерогенного расположения материалов на сомножители. Влияние на $k_{эфф}$ водо-уранового отношения. Влияние водоуранового отношения на коэффициент реактивности по температуре теплоносителя.
<b>3.</b>	<b>Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора.</b>	
3.1.	Одноклассовые дифференциальные уравнения для расчета состава тяжелых ядер в функции времени и их решения.	Уравнение баланса данного нуклида в функции времени. Общий случай решения. Аналитические решения для основных тяжелых ядер. Примеры зависимости количества нуклида в функции времени для теплового и быстрого реактора.
3.2.	Динамика состава осколков деления во время работы реактора.	Система уравнений для описания накопления осколков деления с одинаковыми массами (изобары). Приближенное решение для данного нуклида при использовании кумулятивного выхода. Количество и радиоактивность после окончания работы реактора. Примеры интегральных характеристик и зависимость их значений от времени после останова реактора. Средние сечения осколков деления в функции времени во время работы реактора.
3.3.	Глубина выгорания топлива.	Определение глубины выгорания. Причины ограничения глубины выгорания. Единицы измерения глубины выгорания и их связи. Примеры глубин выгорания для реакторов разного типа и назначения. Основные соотношения между мощностью, глубиной выгорания, временем нахождения топлива в реакторе.
3.4.	Переходные процессы при отравлении реактора ядрами самария и ксенона, а также при изменениях концентрации нептуния.	Цепочки изобаров с массами 135 и 149. Стационарные количества ядер цепочек и зависимость от плотности потока нейтронов. Количество ядер (отравление) в функции времени при быстром изменении мощности при поддержании постоянным нового уровня мощности и изменение мощности без ее поддержания. Положительные обратные связи. Йодная яма. Прометиевая «смерть» реактора. Примеры зависимостей мощности и реактивности от времени. Зависимость темпа потери реактивности от времени в начале кампании и после останова реактора.
2.4	Примеры критических масс и размеров.	Примеры критических масс и размеров для реакторов цилиндрической, сферической и прямоугольной формой
<b>4.</b>	<b>Воспроизводство ядерного топлива.</b>	
4.1.	Необходимые и достаточные условия возможности расширенного воспроизводства.	Определение расширенного воспроизводства топлива. Возможность воспроизводства топлива в уран-плутониевой и уран-ториевом циклах. Коэффициенты конверсии, воспроизводства и избыточного воспроизводства.

4.2.	Коэффициенты воспроизводства и их связь с временем удвоения развития мощностей. Значения КВ на энергетических реакторах.	Допустимые значения отношения макросечения захвата сырьевого материала к макросечению деления делящегося материала. Влияние плотности топлива и обогащения на параметры воспроизводства. Связь времени удвоения мощностей с избыточным коэффициентом воспроизводства.
<b>5.</b>	<b>Обратные связи.</b>	
5.1.	Обратные связи атомной электростанции.	Определение понятий «обратные связи». Положительные и отрицательные обратные связи, их связь с безопасностью атомной электростанции.
5.2.	Обратные связи ядерного реактора. естественные (пассивные) и их влияние на безопасность реактора.	Определение обратных связей и их описание на примере работающего реактора атомной станции. Непосредственные и сложные (комплексные) обратные связи. Главная причина обратных связей – взаимосвязь технологических параметров и реактивности реактора, как следствие описания эффективного коэффициента размножения. Физические механизмы изменения реактивности при изменении технологических характеристик реактора (плотность, размеры, температура, давление).
5.3	Естественные и рукотворные пассивные обратные связи (защитные свойства реакторов).	Примеры пассивных связей (Допплер-эффект на резонансах U-238; естественная циркуляция и пр.). Проектные и конструкционные решения, влияющие на значение и полярность обратных связей. Примеры наиболее крупных аварий, обусловленных обратными связями (США, СССР, Япония).
<b>6.</b>	<b>Запас реактивности и его компенсация.</b>	
6.1.	Необходимость иметь запас реактивности.	Потеря реактивности при выводе реактора на мощность и его останове, изменение реактивности при выгорании топлива требуют наличия управляемого запаса реактивности.
6.2.	Способы компенсации запаса реактивности.	Компенсация запаса реактивности должна быть управляемой. Оперативный запас реактивности осуществляют с помощью управляемых поглощающих стержней. Управление запасом реактивности при выгорании топлива (управляемая концентрация поглотителя в теплоносителе; выгорающий поглотитель в топливе и материалах ТВС; специальные устройства, построенные на изменениях давления)
<b>7.</b>	<b>Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.</b>	
7.1.	Операторы УПН и сопряженные. Свойства операторов.	Записываются уравнения переноса и сопряженное условно-критическое в операторной форме. Рассмотрен физический смысл операторов. Показано и доказано, что сопряженные операторы обладают замечательным свойством – возможностью «изменения последовательности интегрирования».
7.2.	Теория малых возмущений. Приближенные нахождения коэффициентов чувствительности.	Идеология малых возмущений позволяет находить коэффициенты чувствительности, для которых дается определение, область применений и ограничения. КЧ могут относиться к различным интегральным параметрам (характеристикам) реактора – реактивности, коэффициентам воспроизводства, обогащению и составу топлива и пр. Точные, и приближенные и совсем грубые оценки КЧ.

7.3.	Общее, асимптотическое и условно-критическое решения УПН	Приводится общее решение УПН и его анализ. Получено асимптотическое решение УПН, которое позволяет вычислить период (асимптотический) реактора. Рассмотрена идеология условно критического УПН – решение проблемы нахождения реактивности из решения УПН.
7.4	Формула обратных часов – связь реактивности и периода реактора.	Дан вывод уравнения обратных часов - связи реактивности реактора и периода. Показано, что значение периода изменяется после возмущения и после переходного периода в случае точеного уравнения кинетики устанавливается асимптотическое значение. Эти свойства наглядно интерпретируются приближением с одной группой запаздывающих нейтронов.
<b>8.</b>	<b>Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.</b>	
8.1.	Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в плоском и цилиндрическом реакторах (гомогенный и «слоеный» реактор). Геометрический и материальный параметры.	УПН существенно упрощается в диффузионном приближении. Записываются решения пространственного распределения для указанных геометрий. Вводятся понятия геометрического и материального параметров. Рассматривается два подхода к решению нахождения критических размеров – при заданном составе реактора и при заданных размерах. Изучается нахождения условий с максимальной (на примере реактора – источника нейтронов для радиационной терапии онкозаболеваний) и минимальной утечками нейтронов. Дается таблица расчетных значений критических масс и размеров ядерных реакторов с замедлителями.
8.2.	Эффективность отдельных поглощающих стержней. Эффективность системы стержней (приближение парной интерференции).	Подход к приближенному вычислению эффективности отдельного поглощающего стержня. Зависимость эффективности стержня от его геометрического расположения в активной зоне. Физическое рассмотрение интерференционных эффектов и их значимости в зависимости от геометрии и размеров активной зоны. Практический способ учета интерференционных эффектов используя подход «парной интерференции».
8.3.	Эффективности системы стержней и их зависимость от режима работы реакторов АЭС.	Дается описание и назначение систем стержней для энергетических реакторов ВВЭР, РБМК, БН и изменения их эффективности в течение кампании между перегрузками.
<b>9.</b>	<b>Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.</b>	
9.1	Предпосылки к возможностям и практической ценности расчета.	Для расчета спектра нейтронов можно использовать решения УПН при неизменных значениях всех характеристик реактора от времени и пространства.
9.2	Вывод уравнений в групповом представлении. Рекуррентное соотношение.	Для нахождения спектра нейтронов в упрощенном варианте УПН представляют в виде системы дифференциальных уравнений, записанных для энергетических групп нейтронов. При этом возникает необходимость «выдумывать» макроскопические сечения, которые адекватно описывают переход нейтронов из данной группы в другие (сечение увода, сечение перевода из группы в группу, сечение замедление). Оказывается, что такую систему уравнений можно решить рекуррентным способом.

10.	<b>Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения переноса нейтронов и сопряженного условно-критического уравнения.</b>	
10.1	Необходимость уравнений, связывающих только плотность потока нейтронов и реактивность со временем.	Общее решение УПН позволяет получить мгновенные (и затем асимптотические) значения периода реактора для данного исходного состояния реактора. Однако состояние реактора обычно изменяется во времени. Поэтому задача состоит в получении зависимости количества нейтронов (мощности) в функции реактивности (в общем случае меняющейся).
10.2	Совместное решение прямого и сопряженного уравнений для получения интегральных параметров. Физический смысл интегральных параметров.	Подробно рассмотрен алгоритм вывода точечного уравнения кинетики, основанный на совместном решении уравнения переносанейтронов в операторной форме и сопряженного (уравнения ценности). Сопоставление эффективных интегральных параметров с физическими (доля ЗН, время жизни мгновенных нейтронов, количество предшественников ЗН).
10.3	Разделение переменных и ограничения применения точечного уравнения кинетики.	Разделение временных и пространственно-энергетических переменных позволяет получить уравнения кинетики. Приближение ограничивает применение точечного уравнения кинетики – реактивность не более половины доли ЗН.

*Практически/семинарские занятия*

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	<b>Принципы работы ядерного реактора.</b>	
1.1.	Мощность и количество делений.	Работа реактора в энергетическом режиме. Связь мощности и скорости делений. Локальное и пространственное распределение энергии, выделяемой при делении.
1.2.	Энерговыделение на единицу массы сожженного топлива.	Максимальное количество энергии, нормированное на различные величины.
1.3.	Накопление радиоактивности при работе реактора.	Остаточное энерговыделение. Графики остаточного энерговыделения.
1.4.	Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.	Использование интегральных представлений плотности потока нейтронов для вычисления скоростей реакций, количества нейтронов, флюенса.
2.	<b>Цепной процесс деления.</b>	
2.1.	Эффективный коэффициент размножения и реактивность.	Эффективный коэффициент размножения, $k_{эфф}$ , и $k_{00}$ (для бесконечно-протяженной среды). Общая запись для гомогенной системы с однокрупными сечениями. Реактивность.
2.2.	Расчет $k_{эфф}$ и $\rho$ через скорости процессов.	Упрощенный расчет в однокрупном представлении. Оценка предельных значений $k_{эфф}$ и $\rho$ .
2.3.	Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.	Влияние гетерогенного расположения материалов на сомножители. Влияние на $k_{эфф}$ водо-уранового отношения. Влияние водоуранового отношения на коэффициент реактивности по температуре теплоносителя.
3.	<b>Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора</b>	

3.1.	Односкоростные дифференциальные уравнения для расчета состава тяжелых ядер в функции времени и их решения.	Аналитические решения для основных тяжелых ядер. Примеры зависимости количеств нуклида в функции времени для разных типов реактора.
3.2.	Динамика состава осколков деления во время работы реактора.	Приближенное решение для данного нуклида при использовании кумулятивного выхода. Количество и радиоактивность осколков деления после окончания работы реактора. Примеры интегральных характеристик и зависимость их значений от времени после останова реактора.
3.3.	Глубина выгорания топлива.	Определение глубины выгорания (зависимость и причины). Единицы измерения глубины выгорания и их связи. Основные соотношения между мощностью, глубиной выгорания, временем нахождения топлива в реакторе.
3.4.	Переходные процессы при отравлении реактора ядрами самария и ксенона, а также при изменениях концентрации нептуния.	Стационарные количества ядер цепочек и зависимость от плотности потока нейтронов. Количества ядер (отравление) в функции времени при быстром изменении мощности при поддержании постоянным нового уровня мощности и изменение мощности без ее поддержания. Различные сценарии.
<b>4.</b>	<b>Воспроизводство ядерного топлива.</b>	
4.1.	Необходимые и достаточные условия возможности расширенного воспроизводства.	Определение расширенного воспроизводства топлива. Коэффициенты конверсии, воспроизводства и избыточного воспроизводства.
4.2.	Коэффициенты воспроизводства и их связь со временем удвоения развития мощностей.	Допустимые значения отношения макросечения захвата сырьевого материала к макросечению деления делящегося материала. Связь времени удвоения мощностей с избыточным коэффициентом воспроизводства.
<b>5.</b>	<b>Обратные связи.</b>	
5.1.	Обратные связи атомной электростанции.	Положительные и отрицательные обратные связи, их связь с безопасностью атомной электростанции.
5.2.	Обратные связи ядерного реактора. естественные (пассивные) и их влияние на безопасность реактора.	Непосредственные и сложные (комплексные) обратные связи. Физические механизмы изменения реактивности при изменении технологических характеристик реактора (плотность, размеры, температура, давление).
5.3.	Естественные и рукотворные пассивные обратные связи (защитные свойства реакторов).	Примеры пассивных связей (Допплер-эффект на резонансах U-238; естественная циркуляция и пр.). Проектные и конструкционные решения, влияющие на значение и полярность обратных связей.
<b>6.</b>	<b>Запас реактивности и его компенсация.</b>	
6.1.	Необходимость иметь запас реактивности.	Потеря реактивности при выводе реактора на мощность и изменение реактивности при выгорании топлива и останове реактора требуют наличия управляемого запаса реактивности.

6.2.	Способы компенсации запаса реактивности.	Оперативный запас реактивности осуществляют с помощью управляемых поглощающих стержней. Управление запасом реактивности при выгорании топлива.
<b>7</b>	<b>Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.</b>	
7.2.	Теория малых возмущений. Приближенные нахождения коэффициентов чувствительности.	Решение задач по нахождению коэффициентов чувствительности эффективного коэффициента размножения, эффективности поглощающего стержня, коэффициента воспроизводства к вариациям макроскопических сечений в грубом приближении, не принимая во внимание ценность нейтронов. Рассмотрение (обсуждение) вопроса о возможных погрешностях грубого приближения.
7.4	Формула обратных часов – связь реактивности и периода реактора.	Решение задач на основе уравнения обратных часов по нахождению реактивности по измеренному (заданному) периоду реактора в приближении одной и шести групп запаздывающих нейтронов. Алгоритм решения и решение инверсной задачи – нахождение периода реактора по заданной реактивности.
<b>8.</b>	<b>Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.</b>	
8.1.	Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в плоском и цилиндрическом реакторах (гомогенный и «слоеный» реакторы).	УПН существенно упрощается в диффузионном приближении. Записываются решения пространственного распределения для указанных геометрий. Вводится понятия геометрического и материального параметров. Рассматривается два подхода к решению нахождения критических размеров – при заданном составе реактора и при заданных размерах. Изучается нахождение условий с максимальной (на примере реактора – источника нейтронов для радиационной терапии онкозаболеваний) и минимальной утечками нейтронов. Дается таблица расчетных значений критических масс и размеров ядерных реакторов с замедлителями.
8.2.	Эффективность отдельных поглощающих стержней. Эффективность системы стержней (приближение парной интерференции).	Подход к приближенному вычислению эффективности отдельного поглощающего стержня. Зависимость эффективности стержня от его геометрического расположения в активной зоне. Физическое рассмотрение интерференционных эффектов и их значимости в зависимости от геометрии и размеров активной зоны. Практический способ учета интерференционных эффектов используя подход «парной интерференции».
8.3.	Эффективности системы стержней и их зависимость от режима работы реакторов АЭС.	Дается описание и назначение систем стержней для энергетических реакторов ВВЭР, РБМК, БН и изменения их эффективности в течение кампании между перегрузками.
<b>9.</b>	<b>Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.</b>	

9.2.	Вывод уравнений в групповом представлении. Рекуррентное соотношение.	Для нахождения спектра нейтронов в упрощенном варианте УПН представляют в виде системы дифференциальных уравнений, записанных для энергетических групп нейтронов. При этом возникает необходимость «выдумывать» макроскопические сечения, которые адекватно описывают переход нейтронов из данной группы в другие (сечение увода, сечение перевода из группы в группу, сечение замедление). Оказывается, что такую систему уравнений можно решить рекуррентным способом.
------	--	--

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине «Физическая теория ядерных реакторов», реквизиты одобрения и утверждения отделением ЯФиТ ИАТЭ НИЯУ МИФИ

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущий контроль, 6 семестр</b>			
1.	Принципы работы ядерного реактора.	ПК-4, ПК-17.1	Контрольная работа 1
2.	Цепной процесс деления.		
3.	Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора		
4.	Воспроизводство ядерного топлива.		
5.	Обратные связи.		Контрольная работа 2
6.	Запас реактивности и его компенсация.		
<b>Промежуточный контроль, 6 семестр</b>			
	экзамен	ПК-4, ПК-17.1	Экзаменационный билет
Всего:			
<b>Текущий контроль, 7 семестр</b>			
1.	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.	ПК-4, ПК-17.1	Контрольная работа 1
2.	Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.		
3.	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.		Контрольная работа 2

4	Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения переноса нейтронов и сопряженного условно-критического уравнения.		
<b>Промежуточный контроль, 7 семестр</b>			
	экзамен	ПК-4, ПК-17.1	Экзаменационный билет
Всего:			

## 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

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

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков, обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
  - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
  - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.
- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

6 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум	Максимум
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
<i>Задача № 1.1</i>	<b>7-8</b>	6	10
<i>Задача № 1.2</i>	<b>7-8</b>	6	10

<i>Задача № 1.3</i>	<b>7-8</b>	6	10
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
<i>Задача № 2.1</i>	<b>15-16</b>	6	10
<i>Задача № 2.2</i>	<b>15-16</b>	6	10
<i>Задача № 2.3</i>	<b>15-16</b>	6	10
<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Экзаменационный вопрос № 3.1</i>	-	12	20
<i>Экзаменационный вопрос № 3.2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

7 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум	Максимум
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
<i>Задача № 4.1</i>	<b>7-8</b>	6	10
<i>Задача № 4.2</i>	<b>7-8</b>	6	10
<i>Задача № 4.3</i>	<b>7-8</b>	6	10
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
<i>Задача № 5.1</i>	<b>15-16</b>	6	10
<i>Задача № 5.2</i>	<b>15-16</b>	6	10
<i>Задача № 5.3</i>	<b>15-16</b>	6	10
<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Задача № 3.1</i>	-	12	20
<i>Задача № 3.2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

*Штрафы: за несвоевременную сдачу (указать вид работ) максимальная оценка может быть снижена на 10 %, но не ниже минимального балла за оценочное средство*

#### **8.4. Шкала оценки образовательных достижений**

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

<b>Сумма баллов</b>	<b>Оценка по 4-х балльной шкале</b>	<b>Оценка ECTS</b>	<b>Требования к уровню освоения учебной дисциплины</b>
<b>90-100</b>	5- «отлично»/ «зачтено»	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
<b>85-89</b>	4 - «хорошо»/ «зачтено»	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
<b>75-84</b>		C	
<b>70-74</b>		D	
<b>65-69</b>	3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»	D	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
<b>60-64</b>		E	
<b>0-59</b>	2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

## **9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) основная учебная литература:**

1. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта : науч. издание / С. А. Андрущенко [и др.]. - М. : Логос, 2010.
2. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000 [Электронный ресурс]: монография / В. И. Белозеров [и др.]. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2014.

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. - [Б. м.], 2007.
4. Савандер, В.И. Физическая теория ядерных реакторов [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В. И. Савандер, М. А. Увакин. - Москва: НИЯУ МИФИ.Ч.2: Теория возмущений и медленные нестационарные процессы. - [Б. м.], 2013.Владимиров В.И.
5. Физика ядерных реакторов. Практические задачи по их эксплуатации. Изд. 5-е, переработанное и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 480 с.

**б) дополнительная учебная литература:**

1. Основы теории и методы расчета ядерных реакторов. Под редакцией Г.А. Батя. Москва, Энергоиздат, 1982.
2. Ганев И.Х. Физика ядерных реакторов. Москва, Энергоатомиздат, 1992.
3. Фейнберг С.М., Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов. Том 1. М.: Атомиздат, 1970.
4. Белл Д., Глестон С. Теория ядерных реакторов. Атомиздат, 1974.
5. Марчук Г.И. Методы расчета ядерных реакторов. Госатомиздат, 1961.
6. Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов. ИЛ, 1961.

**10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [Электронный ресурс] URL: <http://elibrary.ru> (Дата обращения: 10.05.2024).
2. Электронно-библиотечная система издательство "Лань": [Электронный ресурс] URL: [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com) (Дата обращения: 10.05.2024).
3. Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ": [Электронный ресурс] URL: [www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru) (Дата обращения: 10.05.2024).
4. E-learning for Nuclear Newcomers [Электронный ресурс] URL: <https://www.iaea.org/topics/infrastructure-development/e-learning-for-nuclear-newcomers> (Дата обращения: 10.05.2024).
5. Росатом [Электронный ресурс] URL:<http://www.rosatom.ru> (Дата обращения: 10.05.2024).

**11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

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	При подготовке к практическим занятиям повторить основные понятия и формулы по темам домашнего задания. Решая упражнения и задачи, предварительно понять, какой теоретический материал нужно изучить. Решить типовую задачу из данной темы на доске с преподавателем. Написать план решения задач, попробовать на его основе решить 1-2 аналогичные задачи самостоятельно. При возникновении трудностей с решением или пониманием сформулировать и задать вопросы преподавателю
Контрольная работа	При подготовке к контрольной работе необходимо проработать конспект лекций. Самостоятельно решить типовые задачи из каждой темы. При решении задач необходимо комментировать свои действия и не забывать о содержании интерпретации.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, задачи практических занятий, рекомендуемую литературу и интернет источники. Вместо «заучивания» материала важно добиться понимания изучаемой дисциплины.

## **12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- 1) Создание и управление классами,
- 2) Создание курсов,
- 3) Организация записи учащихся на курс,
- 4) Предоставление доступа к учебным материалам для учащихся,
- 5) Публикация заданий для учеников,
- 6) Оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения,
- 7) Организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

### **12.1. Перечень информационных технологий**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций и практических занятий с использованием слайд-презентаций;
- использование текстового редактора Microsoft Word;
- использование табличного редактора Microsoft Excel.

### **12.2. Перечень программного обеспечения**

1. Текстовый редактор Microsoft Word;

2. Табличный редактор Microsoft Excel;
3. Редактор презентаций Microsoft PowerPoint;
5. Браузеры: Google Chrome, Internet Explorer, Yandex, Mozilla Firefox, Opera.

### **12.3. Перечень информационных справочных систем**

Доступ к электронным библиотечным ресурсам и электронной библиотечной системе (ЭБС) осуществляется посредством специальных разделов на официальном сайте ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Обеспечен доступ к электронным каталогам библиотеки ИАТЭ НИЯУ МИФИ, а также электронным образовательным ресурсам (ЭИОС), сформированным на основании прямых договоров с правообладателями учебной и учебно-методической литературы, методических пособий:

- 1) Информационные ресурсы Сети Консультант Плюс, [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (информация нормативно-правового характера на основе современных компьютерных и телекоммуникационных технологий);
- 2) Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ, [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK);
- 3) ЭБС «Издательства Лань», <https://e.lanbook.com/>;
- 4) Электронно-библиотечная система BOOK.ru, [www.book.ru](http://www.book.ru);
- 5) Базы данных «Электронно-библиотечная система elibrary» (ЭБС elibrary);
- 6) Базовая версия ЭБС IPRbooks, [www.iprbooks.ru](http://www.iprbooks.ru);
- 7) Базы данных «Электронная библиотека технического ВУЗа» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru);
- 8) Электронно-библиотечная система «Айбукс.py/ibooks.ru», <http://ibooks.ru/home.php?routine=bookshelf>
- 9) Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ», <http://urait.ru/>.

## **13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Учебная аудитория на 30 мест с мультимедийным оборудованием, программное обеспечение для компьютерных презентаций. Доска.

## **14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ**

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

Применяемые на лекционных занятиях

- Технология концентрированного обучения (лекция-беседа, привлечение внимания студентов к наиболее важным вопросам темы, содержание и темп изложения учебного материала определяется с учетом особенностей студентов)
- Технология активного обучения (визуальная лекция с разбором конкретных ситуаций)

Применяемые на практических занятиях

- Технология активного обучения (визуальный семинар с разбором конкретных задач).
- Технология интерактивного обучения (мозговой штурм: группа получает задание, далее предполагается высказывать как можно большее количество вариантов решения, затем из общего числа высказанных идей отбираются наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике).

<b>№ пп</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)</b>	<b>Количество ак. ч.</b>	<b>Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий</b>
1	Принципы работы ядерного реактора.	лекции / практические занятия	6	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
2	Цепной процесс деления.	лекции / практические занятия	7	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
3	Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора	лекции / практические занятия	10	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
4	Воспроизводство ядерного топлива.	лекции / практические занятия	6	лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
5	Обратные связи.	лекции / практические занятия	9	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
6	Запас реактивности и его компенсация.	лекции / практические занятия	10	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
7	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.	Лекции/ практические занятия	12	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
8	Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.	Лекции/практические занятия	12	лекция-беседа, визуальная лекция с разбором конкретных ситуаций
9	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.	лекции / практические занятия	16	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач

10	Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения переноса нейтронов и сопряженного условно-критического уравнения.	лекции	8	Лекция, лекция-беседа
----	---	--------	---	-----------------------

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

Темы для самостоятельного занятия:

1. Цепная реакция деления
2. Жизненный цикл нейтронов
3. Критическая масса
4. Управление цепной реакцией деления
5. Эффекты реактивности
6. «Иодная яма»
7. Управление реактором
8. Эффективность реактора

**15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

**Для лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а так же, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий. Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т.д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае обучающийся предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время

подготовки на зачете может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а так же использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия обучающийся может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия обучающийся должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т.д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем обучающийся в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

#### **Программу составил (а) (и):**

Ю.А. Казанский, профессор отделения ЯФиТ, д.т.н., профессор  
А.М. Терехова, старший преподаватель отделения ЯФиТ

#### **Рецензент (ы):**

В.В. Коробейников, профессор отделения ЯФиТ, д.ф.-м.н., профессор  
О.Б. Дугинов, к.т.н., старший научный сотрудник ООО ЭНИМЦ "Моделирующие системы"