

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПРОРЫВНЫЕ АТОМНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (NUCLEAR AND
MOLECULAR BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES)**

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	2	72	15	15	0	42	0	3
Итого	2	72	15	15	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

Преподавание учебной дисциплины направлено на расширение знаний по подготовке студентов и отвечает современным тенденциям глобализации атомно-энергетической отрасли. Слушатели получают, на основании прогнозов сегодняшнего дня, базовые сведения по разрабатываемым и ожидаемым технологическим решениям в области ядерной энергии и топливного цикла атомной энергетики, направленные на обеспечение мировых энергетических потребностей. Изучаются топливные циклы, используемые в современной атомной энергетике, а также слабые звенья традиционных ЯТЦ, а также проблемы, требующие разрешения. Дается обзор ресурсной базы атомной энергетики, современные оценки ее исчерпания, базовые сведения о прогрессивных методах добычи и переработки уранового сырья и других материалов, используемых в ЯТЦ, представление о мировом ядерном рынке и международных аспектах ядерной деятельности, включая вопросы нераспространения. Рассматриваются подходы к замыканию топливного цикла и проекты его реализации. Сделан акцент на изучении перспективных направлений развития мировой атомной энергетики, по которым ведутся как продвинутое НИОКР, так и пионерские работы, а также на технологических альтернативах в области атомных реакторов будущих поколений, возможных новых путей получения и использования внутриатомной энергии. Приводятся исторические и современные примеры технологических прорывов в области освоения атомной энергии.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины является знакомство с разрабатываемыми и предлагаемыми перспективными технологиями ЯТЦ и атомной энергетики, а также привитие навыков использования иностранного языка по тематике дисциплины, свободного обращения с терминологией, используемой в профессиональной англоязычной среде.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Задачи учебной дисциплины включают в себя:

- Изучение основных топливных циклов, используемых в атомной энергетике и потребностей в продуктах и услугах ЯТЦ;
- Изучение сырьевых ресурсов атомной энергетики и прогнозов их исчерпания;
- Изучение основ технологий переделов ЯТЦ: производство уранового сырья, конверсия, обогащение, фабрикация;
- Изучение основных методов разделения изотопов и направлений их развития;
- Изучение вопросов фабрикации ядерного топлива и направлений дальнейшего прогресса в этой области;
- Изучение проблем, связанных с использованием МОКС-топлива, рецикла урана, обращения с ОЯТ и РАО;
- Изучение вопросов международной торговли ядерными материалами и услугами ЯТЦ;
- Изучение вопросов, связанных с международным сотрудничеством в области развития ядерной энергетики и нераспространения;
- Изучение концепций будущего развития атомной энергетики, включая УТЯС и другие гипотетические методы использования внутриатомной энергии.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований, построение физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений в рамках предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного

			коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.
Участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий	Природные и социальные явления и процессы	ПК-3 [1] - Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3[1] - Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области ; У-ПК-3[1] - Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты; В-ПК-3[1] - Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области
	инновационный;		
Проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач	Природные и социальные явления и процессы	ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации	3-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по

		<p>новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ; У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий; В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p>
--	--	---	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/8/0		25	Зд-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-

							ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
2	Второй раздел	9-15	7/7/0		25	Реф-15	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Реф	Реферат
Зд	Задание (задача)
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	15	0
1-8	Первый раздел	8	8	0
1	Введение: цели курса, необходимые определения и основные понятия атомной и ядерной физики Обзор необходимых понятий и определений атомной и ядерной физики. Роль топливного цикла в атомной энергетике. Значение ЯТЦ с разных точек зрения: технологии, экономики, политики. Типы атомных реакторов и соответствующих топливных циклов. Границы мирного использования атомной энергии	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Основные топливные циклы, используемые в атомной энергетике Краткий обзор: стабильные и делящиеся элементы, изотопы; основные ядерные реакции, используемые в атомной энергетике; основные технические проблемы, решаемые при создании атомного реактора. Циклы на природном уране; циклы на обогащенном уране. Передель ЯТЦ: производство природного урана, конверсия, обогащение, фабрикация, обращение с ОЯТ. Информация о циклах, используемых в атомной энергетике в ее сегодняшнем состоянии: количество реакторов каждого типа в настоящее время и ожидаемое в будущем. Потребности в продуктах ЯТЦ: природный уран, конверсия, обогащение, фабрикация, обращение с ОЯТ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Пути совершенствования ядерного топливного цикла Недостатки и проблемы существующих циклов: технического плана; экономического плана; политического плана. Направления поиска путей их устранения. Прорывные технологии и поисковые работы в области новых реакторных циклов; возможности ториевого цикла; пути замыкания ЯТЦ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	Реакторы на быстрых нейтронах и перспективы их развития Краткая история развития технологии быстрых реакторов в России и других странах; лидирующая роль отечественной атомной отрасли. Текущее состояние быстрой атомной энергетике в мире, концепции и особенности ее развития в США, Франции, КНР, Японии. Связь с вопросами нераспространения, проблемой ликвидации избыточного плутония.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Проблемы и трудности технологии реакторов на быстрых нейтронах. Перспективы использования изотопно-модифицированного свинцового теплоносителя. Важность программы развития технологии быстрых реакторов для будущего атомной энергетики в России, в т.ч. как решение задачи топливообеспечения атомной энергетики.			
6 - 7	Сырьевые ресурсы атомной энергетики Краткая история появления урана на Земле и возникновения месторождений. Открытие урана как полезного минерала и ранние использования. Свойства природного урана и его изотопов. Текущая и перспективная оценка потребностей и запасов природного урана. Содержание урана в природных средах и возможности его извлечения. Современные и перспективные методы разведки, добычи и переработки урана. Шахтный и скважинный методы: кислотное, бескислотное, подземное и кучное выщелачивание. Гидрометаллургическая переработка руды, производство оксидов урана. Закись-окись урана как основной вид сырья в атомной энергетике. Характеристики рынка природного урана и его эволюция. Обозначить связь с рынком обогащения (подробнее – в лекции 9). Имеются ли риски исчерпания источников урана и перспективы их расширения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Конверсия урана в гексафторид В каких топливных циклах требуется операция конверсии урана. Химия и технология процессов конверсии-деконверсии. Важность передела, его связь с экологией, требующие решения проблемы. Мировые конверсионные мощности; российская ситуация. Роль конверсии как рыночного товара сегодня и в будущем. Влияние стоимости конверсии на полную стоимость топлива для АЭС.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Второй раздел	7	7	0
9 - 10	Обогащение урана Обогащение урана как необходимость для атомной энергетики и как путь к созданию оружия. История и современность; попытки создания атомного оружия в ряде стран на заре атомного века и в новейшей истории. Договор о нераспространении и деятельность МАГАТЭ и ядерных государств по его обеспечению. Какие циклы атомной энергетики требуют обогащения по 235-му изотопу. Рынок услуг обогащения и обогащенной урановой продукции. Необходимые свойства ОУП, требования стандартов и рынка. Основные методы разделения изотопов; различие методов, применяемых для разных элементов. Газовая центрифуга; принципы действия и основные параметры.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>Краткая история развития ГЦ технологии: Россия, США, Тройка, Китай, Бразилия, Индия, Сев. Корея.</p> <p>Различие конструкций современных газовых центрифуг; особенности конструкций центрифуг разных производителей.</p> <p>Лимитирующие факторы использования газовой центрифуги.</p> <p>Перспективы развития центробежной технологии разделения, в т.ч. для замыкания ЯТЦ.</p> <p>Программа ВОУ-НОУ – уникальный пример сочетания политики и коммерции.</p> <p>Обогащение и нераспространение – состояние вопроса в настоящее время; современные угрозы распространения и будущие факторы влияния на технологию обогащения: политические ограничения, эволюция потребности, шансы развития других методов.</p> <p>Концепция использования обогащения регенерированного урана для повышения безопасности при экспортных поставках топлива для водо-водяных реакторов.</p> <p>Обогащение стабильных изотопов для научных исследований.</p>			
11 - 12	<p>Фабрикация топлива</p> <p>Качества, необходимые топливу ядерных реакторов.</p> <p>Фабрикация топлива для реакторов разных типов. Процесс фабрикации, особенности и различия разных типов топлива.</p> <p>Разработка новых типов и видов топлива. Повышение выгорания, в т.ч. за счет изотопных добавок.</p> <p>Перспективное топливо для реакторов ВВЭР, РБМК, быстрых; зарубежные перспективные исследования и разработки топлива.</p> <p>Роль государственного регулирования и лицензирования.</p> <p>Послереакторные исследования.</p> <p>Характеристики мировых компаний-фабрикаторов.</p> <p>Процесс коммерциализации топлива; конкуренция на этом рынке. Из чего складывается и от чего зависит цена на топливо.</p> <p>Топливная составляющая стоимости электроэнергии АЭС.</p> <p>Связь с вопросами бэк-энда.</p> <p>Роль перехода в России на замкнутый топливный цикл, возможности быстрых реакторов.</p> <p>МОКС-топливо; производство и использование за рубежом и в России.</p> <p>Связь с задачей утилизации избыточного плутония в России и США.</p>	<p>Всего аудиторных часов</p> <p>2</p> <p>Онлайн</p> <p>0</p>	<p>2</p> <p>0</p>	<p>0</p> <p>0</p>
13 - 14	<p>Обращение и переработка ОЯТ</p> <p>Обращение с ОЯТ и его переработка: разные подходы в разных странах – Россия, США, Франция, Япония. Связь с нераспространением, проблема плутония. Экономические и политические факторы, технологические трудности.</p> <p>Проблематика многократного рецикла урана. «Прорыв» как уникальный проект решения проблем ЯТЦ.</p>	<p>Всего аудиторных часов</p> <p>2</p> <p>Онлайн</p> <p>0</p>	<p>2</p> <p>0</p>	<p>0</p> <p>0</p>

15	Проекты на ближнюю перспективу Применение на АЭС обедненного цинка в целях снижения дозы на персонал. Изотопно-модифицированный свинец в качестве теплоносителя быстрых реакторов. Возможность использования изотопно-модифицированного молибдена вместо традиционного циркония для сборок ядерных реакторов. Создание технологий разделения изотопов для последующей трансмутации и изоляции РАО.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации учебной дисциплины используются различные образовательные технологии – во время аудиторных занятий занятия проводятся в форме лекций с использованием наглядных компьютерных презентаций, а также разбора конкретных ситуаций по теме, проведения дискуссий.

Для контроля усвоения материала студенты подготавливают реферат, проверка которого позволяет судить как о знаниях, так и о самостоятельности работы (проверка на плагиат). Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для закрепления материала и подготовки реферата.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	З, Зд-8, Реф-15
	У-ПК-1	З, Зд-8, Реф-15

	В-ПК-1	3, Зд-8, Реф-15
ПК-3	З-ПК-3	3, Зд-8, Реф-15
	У-ПК-3	3, Зд-8, Реф-15
	В-ПК-3	3, Зд-8, Реф-15
ПК-5	З-ПК-5	3, Зд-8, Реф-15
	У-ПК-5	3, Зд-8, Реф-15
	В-ПК-5	3, Зд-8, Реф-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, 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.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Z81 Application of Compact Heat Exchangers For Combined Cycle Driven Efficiency In Next Generation Nuclear Power Plants : A Novel Approach, Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ А 23 Nuclear power plants : учеб. пособие по англ. яз. для студентов-физиков, Москва: НИЯУ МИФИ, 2018
3. 33 Э40 Экономико-аналитические модели динамики развития ядерной энергетики : монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 В85 Перспективы развития ядерной энергетики с использованием реакторов на быстрых нейтронах : , Мурогуов В.М.,Троянов М.Ф., М.: МИФИ, 1990

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении этого курса студенты должны твёрдо усвоить:

- физико-химические основы топливных циклов атомной энергетики;
- основные направления развития атомной энергетики и ее ресурсной базы;
- научно-техническое и экономическое обоснование замыкания ядерного топливного цикла;
- конкретные примеры инновационных технологических решений, обещающих прорывные результаты в атомной энергетике: быстрые реакторы, ториевый топливный цикл, использование изотопно-модифицированных материалов (свинец, молибден и др.);
- пути решения проблем завершающей стадии ЯТЦ: полный приреакторный цикл, применение разделительных технологий к ОЯТ, трансмутация и т.д.

Также студентам необходимо иметь четкое представление о международных аспектах использования атомной энергии – режиме нераспространения, правилах международной

торговли ядерными материалами, и о соответствующих ограничениях, влияющих на разработку новых ядерных технологий.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При изучении этого курса студенты должны твёрдо усвоить:

- физико-химические основы топливных циклов атомной энергетики;
- основные направления развития атомной энергетики и ее ресурсной базы;
- научно-техническое и экономическое обоснование замыкания ядерного топливного цикла;
- конкретные примеры инновационных технологических решений, обещающих прорывные результаты в атомной энергетике: быстрые реакторы, ториевый топливный цикл, использование изотопно-модифицированных материалов (свинец, молибден и др.);
- пути решения проблем завершающей стадии ЯТЦ: полный приреакторный цикл, применение разделительных технологий к ОЯТ, трансмутация и т.д.

Также студентам необходимо иметь четкое представление о международных аспектах использования атомной энергии – режиме нераспространения, правилах международной торговли ядерными материалами, и о соответствующих ограничениях, влияющих на разработку новых ядерных технологий.

Автор(ы):

Павлов Александр Витальевич

Рецензент(ы):

Борисевич В.Д.