

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета Небольсин В.А.
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины**

«Физические основы термоядерной энергетики»

Направление подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

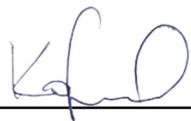
Профиль Техника и физика низких температур

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /К.Г. Королев/

Заведующий кафедрой Физики твердого тела  /Ю.Е. Калинин/

Руководитель ОПОП  /О.В. Калядин/

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Изучение физических основ термоядерной энергетики

1.2. Задачи освоения дисциплины

Формирование знаний в области физики атомного ядра и элементарных частиц, закона радиоактивного распада, ядерных реакций, топливного цикла термоядерного реактора. Формирование знаний принципов работы ядерных реакторов, преимуществ и недостатков атомных электростанций.

Формирование знаний в области термоядерной энергетики

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы термоядерной энергетики» относится к дисциплинам блока ФТД.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы термоядерной энергетики» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен участвовать в проектировании оборудования атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	<i>знать основное оборудование атомных электростанций</i>
	<i>уметь проектировать основное оборудование атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы</i>
	<i>владеть способностью к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы</i>

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы термоядерной энергетики» составляет 2 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18

Самостоятельная работа	36	36
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц	Энергия связи ядра. Дефект массы ядра	2	2	4	8
2	Радиоактивность	Естественная радиоактивность. Искусственная радиоактивность. Закон радиоактивного распада	2	2	4	8
3	Ядерные реакции	Цепная реакция. Термоядерная реакция	2	2	4	8
4	Топливный цикл термоядерного реактора	Схема основных технологических контуров термоядерного реактора. Тритий. Дейтерий	2	2	4	8
5	Ядерные реакторы	Классификация ядерных реакторов. Ядерные реакторы на тепловых нейтронах. Атомные реакторы на быстрых нейтронах	2	2	4	8
6	Атомные электростанции	Выработка электроэнергии. Классификация. Принцип действия. Атомная станция теплоснабжения	2	2	4	8
7	Достоинства и недостатки АЭС	Выбросы. Безопасность атомных электростанций. Перспективы. Производство водорода	2	2	4	8
8	Термоядерная энергетика	Система ТОКАМАК. Стеллараторы. Лазерный термоядерный синтез. Холодный термоядерный синтез	4	4	8	16
Итого			18	18	36	72

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-5	Знать основное оборудование атомных электро-	<i>Активная работа на практических занятиях</i>	<i>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей</i>	<i>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в ра-</i>

	станций		<i>программе</i>	<i>бочей программе</i>
	Уметь проектировать основное оборудование атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы	<i>Решение стандартных практических задач</i>	<i>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i>	<i>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i>
	Владеть способностью к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы	<i>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</i>	<i>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i>	<i>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i>

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-5	Знать основное оборудование атомных электростанций	<i>Тест</i>	<i>Выполнение теста не менее 80% правильных ответов</i>	<i>В тесте менее 80% правильных ответов</i>
	Уметь проектировать основное оборудование атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы	<i>Решение стандартных практических задач</i>	<i>Выполнение теста не менее 80% правильных ответов</i>	<i>В тесте менее 80% правильных ответов</i>
	Владеть способностью к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы	<i>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</i>	<i>Выполнение теста не менее 80% правильных ответов</i>	<i>В тесте менее 80% правильных ответов</i>

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- 1) Какие изотопы, которые встречаются в природе могут служить ядерным топливом или сырьем для его получения?
 - i) Торий-232

- ii) Уран-238
 - iii) Уран-235
- 2) Какие изотопы могут дать цепную реакцию?
- i) Торий-232
 - ii) Уран-238
 - iii) Уран-235
- 3) Какие изотопы используются в качестве сырья для получения ядерного топлива?
- i) Торий-232
 - ii) Уран-238
 - iii) Уран-235
- 4) Какие нейтроны называются медленными?
- i) длина волны де Бройля намного больше радиуса ядра
 - ii) длина волны де Бройля намного меньше радиуса ядра
 - iii) длина волны де Бройля равна меньше радиуса ядра
 - iv) длина волны де Бройля равно нулю
- 5) Какие нейтроны называются быстрыми?
- i) длина волны де Бройля намного больше радиуса ядра
 - ii) длина волны де Бройля намного меньше радиуса ядра
 - iii) длина волны де Бройля равна меньше радиуса ядра
 - iv) длина волны де Бройля равно нулю
- 6) Что такое активная зона?
- i) среда, в которой происходит процесс размножения нейтронов
 - ii) среда, в которой происходит процесс размножения электронов
 - iii) среда, в которой происходит процесс размножения ядер
 - iv) среда, в которой происходит процесс размножения протонов
- 7) Что такое коэффициент размножения нейтронов в среде?
- i) физическая величина, характеризующая интенсивность размножения нейтронов
 - ii) физическая величина, характеризующая интенсивность размножения электронов
 - iii) физическая величина, характеризующая интенсивность размножения протонов
 - iv) физическая величина, характеризующая интенсивность размножения ядер
- 8) Как определяется коэффициент размножения нейтронов в среде?
- i) равен отношению количества нейтронов в одном поколении к их количеству в предыдущем поколении
 - ii) равен произведению количества нейтронов в одном поколении на их количество в предыдущем поколении
 - iii) равен сумме количества нейтронов в одном поколении и их количества в предыдущем поколении
 - iv) равен разнице количества нейтронов в одном поколении и их количества в предыдущем поколении
- 9) Как определяется коэффициент размножения нейтронов в физической системе?
- i) равен произведению коэффициента размножения нейтронов в среде и вероятности нейтрона не уйти из активной зоны
 - ii) равен отношению коэффициента размножения нейтронов в среде на вероятность нейтрона не уйти из активной зоны
 - iii) равен сумме коэффициента размножения нейтронов в среде и вероятности нейтрона не уйти из активной зоны
 - iv) равен разнице коэффициента размножения нейтронов в среде и вероятности нейтрона не уйти из активной зоны

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- 1) Что такое критический размер активной зоны?

- i) размер активной зоны, при котором коэффициент размножения нейтронов в физической системе равен единице
 - ii) размер активной зоны, при котором коэффициент размножения нейтронов в среде равен единице
 - iii) размер активной зоны, при котором коэффициент размножения нейтронов в физической системе равен нулю
 - iv) размер активной зоны, при котором коэффициент размножения нейтронов в среде равен нулю
- 2) Что такое критическая масса активной зоны?
- i) масса активной зоны критических размеров
 - ii) критические размеры активной зоны
 - iii) масса нейтронов, покидающих активную зону
 - iv) масса протонов, покидающих активную зону
- 3) При каких значениях коэффициента размножения нейтронов в физической системе цепная реакция идет стационарно?
- i) равен 1
 - ii) больше 1
 - iii) меньше 1
- 4) При каких значениях коэффициента размножения нейтронов в физической системе интенсивность цепной реакции гаснет?
- i) равен 1
 - ii) больше 1
 - iii) меньше 1
- 5) При каких значениях коэффициента размножения нейтронов в физической системе интенсивность цепной реакции нарастает?
- i) равен 1
 - ii) больше 1
 - iii) меньше 1
- 6) При каких значениях коэффициента размножения нейтронов в физической системе режиме цепной реакции называется критическим?
- i) равен 1
 - ii) больше 1
 - iii) меньше 1
- 7) При каких значениях коэффициента размножения нейтронов в физической системе режиме цепной реакции называется надкритическим?
- i) равен 1
 - ii) больше 1
 - iii) меньше 1
- 8) При каких значениях коэффициента размножения нейтронов в физической системе режиме цепной реакции называется подкритическим?
- i) равен 1
 - ii) больше 1
 - iii) меньше 1
- 9) Чем определяется вероятность деления при захвате нейтрона ядром делящегося изотопа?
- i) сечение деления
 - ii) сечение радиационного захвата
- 10) В каких единицах измеряется сечение поглощения нейтрона?
- i) барн
 - ii) бар
 - iii) торр
 - iv) эВ

11) Какая реакция имеет самый высокий энергетический выход?

- i) $D + T$
- ii) $D + D$
- iii) $D + He-3$
- iv) $p + B-11$
- v) $Li-6 + n$
- vi) $Li-7 + n$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1) Как классифицируются реакторы по размещению топлива?

- i) исследовательские реакторы
- ii) изотопные реакторы
- iii) энергетические реакторы
- iv) реакторы на тепловых нейтронах
- v) реакторы на быстрых нейтронах
- vi) реакторы на промежуточных нейтронах
- vii) реакторы со смешанным спектром
- viii) гетерогенные реакторы
- ix) гомогенные реакторы

2) Что может использоваться в качестве теплоносителя в термоядерных реакторах?

- i) вода
- ii) газ
- iii) тяжелая вода
- iv) органика
- v) жидкий металл
- vi) расплавы солей

3) Что может использоваться в качестве замедлителя в термоядерных реакторах?

- i) графит
- ii) вода
- iii) бериллий
- iv) оксид бериллия
- v) гидриды металлов

4) Что обозначает аббревиатура МАГАТЭ?

- i) Международное агентство по атомной энергии
- ii) Атомная станция в Японии
- iii) Государственная организация по термоядерному синтезу
- iv) Международное обозначение ядерных реакторов

5) Что обозначает аббревиатура ТВЭЛ?

- i) тепловыделяющие элементы
- ii) тяжелая вода энергетического элемента
- iii) твердый высокоэнергетический элемент
- iv) тяжелый высокоэнергетический элемент

6) Какие требования предъявляются к ТВЭЛам?

- i) малое поглощение нейтронов конструкционным материалов
- ii) минимум конструкционного материала в активной зоне
- iii) отсутствие взаимодействия ядерного топлива и продуктов деления с оболочкой
- iv) хорошее поглощение нейтронов конструкционным материалов
- v) максимум конструкционного материала в активной зоне
- vi) хорошее взаимодействия ядерного топлива и продуктов деления с оболочкой

7) Какие атомы используется в качестве сырья для топлива в реакторах на быстрых нейтронах?

- i) Плутоний-239

- ii) Уран-235
 - iii) Уран-233
 - iv) Уран-238
 - v) Торий-232
- 8) Какие атомы используются в качестве топлива в реакторах на быстрых нейтронах?
- i) Плутоний-239
 - ii) Уран-235
 - iii) Уран-233
 - iv) Уран-238
 - v) Торий-232
- 9) Что можно отнести к преимуществам атомных электростанций по сравнению с тепловыми электростанциями в России?
- i) практическая независимость от источников топлива из-за небольшого количества топлива
 - ii) относительная экологическая чистота при выбросе вредных веществ в атмосферу
 - iii) загрязнение, вызванное большими расходами технической воды
 - iv) тяжелые последствия аварий
 - v) ликвидация электростанции после выработки ее ресурса
- 10) Что можно отнести к недостаткам атомных электростанций по сравнению с тепловыми электростанциями в России?
- i) практическая независимость от источников топлива из-за небольшого количества топлива
 - ii) относительная экологическая чистота при выбросе вредных веществ в атмосферу
 - iii) загрязнение, вызванное большими расходами технической воды
 - iv) тяжелые последствия аварий
 - v) ликвидация электростанции после выработки ее ресурса

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Энергия связи ядра. Дефект массы ядра.

Естественная радиоактивность. Искусственная радиоактивность.

Закон радиоактивного распада

Цепная реакция. Термоядерная реакция

Схема основных технологических контуров термоядерного реактора.

Тритий. Дейтерий

Классификация ядерных реакторов. Ядерные реакторы на тепловых нейтронах. Атомные реакторы на быстрых нейтронах

Выработка электроэнергии. Классификация. Принцип действия.

Атомная станция теплоснабжения

Выбросы. Безопасность атомных электростанций. Перспективы.

Производство водорода.

Система ТОКАМАК. Стеллараторы. Лазерный термоядерный синтез.

Холодный термоядерный синтез

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 бал-

лом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 80 %

2. Оценка «Зачтено» ставится, если студент набрал не менее 80 %

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Радиоактивность	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Ядерные реакции	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Топливный цикл термоядерного реактора	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Ядерные реакторы	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Атомные электростанции	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
7	Достоинства и недостатки АЭС	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
8	Термоядерная энергетика	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется

проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1) *Системы альтернативной термоядерной энергетики / С.В. Рыжков, А.Ю. Чирков. - Москва : Физматлит, 2018. - 198 с. : граф., схем., ил. Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1759-3.*

2) *Нетрадиционные источники энергии. Ч.2 : учебное пособие / Н. П. Краснова, А. С. Горшенин, Ю. И. Рахимова, И. В. Макаров. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2020. — 60 с. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://ipr-smart.ru/105218.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей*

3) *Едчик, И. А. Основы физики ядерных реакторов / И. А. Едчик. — Минск : Белорусская наука, 2019. — 212 с. — ISBN 978-985-08-2460-8. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://ipr-smart.ru/95465.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей*

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- 1) <https://elibrary.ru>
- 2) <https://cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных, лабораторных и практических занятий необходима аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой, персональными компьютерами с возможностью выхода в интернет

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физические основы термоядерной энергетики» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излага-

ются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета *устройств термоядерной энергетики*. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность 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. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.