

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Нововоронежский политехнический институт –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(НВПИ НИЯУ МИФИ)**

УТВЕРЖДЕН:

Педагогическим советом

«17» *марта* 2023г., протокол № 550

**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
«Теория переноса нейтронов»**

**Направление подготовки:** 27.03.04 Управление в технических системах

**Наименование образовательной программы бакалавриата:** Управление и информатика в технических системах

**Уровень образования:** бакалавриат

**Форма обучения:** очная

Нововоронеж 2023 г.

**Паспорт**  
**фонда оценочных средств**  
**по дисциплине «Физика ядерных реакторов»**

**1. Модели контролируемых компетенций:**

Оценочные средства для текущего контроля направлены на проверку знаний и умений студентов, являющихся основой формирования у обучающихся компетенций:

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

З-УК-1 Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа

У-УК-1 Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников

В-УК-1 Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач

УКЕ-1 Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах

З-УКЕ-1 знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

У-УКЕ-1 уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи

В-УКЕ-1 владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

Соотнесение знаний, умений и навыков с компетенциями приведено в таблице:

Индекс компетенции	Проектируемые результаты освоения дисциплины «Ремонт и наладка устройств релейной защиты и автоматизации» и индикаторы формирования компетенций			Средства и технологии оценки
	Знания (З)	Умения (У)	Навыки (В)	
УК-1 УКЕ -1	3.1, 3.2, 3.3,	У.1, У.2, У.3	В.1, В.2, В.3	УО ДЗ Т РЗ КР

Формой аттестации по дисциплине «Теория переноса нейтронов» является зачёт с оценкой.

## 2. Программа оценивания контролируемой компетенции:

№ п/п	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины*	Рубежный контроль	Макс. балл	Компетенции	Распределение баллов
<b>Семестр 7</b>					
1	Основы ядерной физики и нейтронное поле в яденном реакторе	8 – ПР	30	УК-1 УКЕ -1	ДЗ1 – 6 б. ДЗ2 – 6 б. Т1 – 10 б. ПР – 8 б.
2	Диффузия и замедление нейтронов	17 – Т	30	УК-1 УКЕ -1	ДЗ3 – 8 б. ДЗ4 – 8 б. Т2 – 14 б.
	Зачёт с оценкой		40	ПК-3 ПК-4 ПК-2	УК-1 УКЕ -1
	Итого		100		

Формами аттестации по дисциплине являются решение задач (РЗ), тест (Т), домашнее задание (ДЗ), практическая работа (ПР).

Контроль и оценка результатов освоения дисциплины осуществляется преподавателем в процессе проведения устных опросов, лабораторных и практических работ в форме собеседования.

Оценивание контролируемых компетенций по разделам:

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
<b>Раздел 1. Основы ядерной физики и нейтронное поле в ядерном реакторе</b>			

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основы ядерной физики	УК-1 УКЕ -1	ДЗ1 ДЗ2
2	Нейтронное поле в ядерном реакторе	УК-1 УКЕ -1	КР Т1
<b>Раздел 2. Замедление и диффузия нейтронов</b>			
3	Диффузия моноэнергетических нейтронов	УК-1 УКЕ -1	ДЗ3 ДЗ4 Т2
4	Замедление нейтронов	УК-1 УКЕ -1	Т2

Экзаменационная оценка выставляется преподавателем с учетом всех представленных студентами работ по дисциплине в течение семестра.

Формулировка результата	Показатели освоения результата	Средства оценки	Формируемые компетенции
<b>В результате освоения дисциплины студент должен знать</b>			
<b>3.1.</b> Знать методы проведения физического и численного эксперимента, подготовки соответствующих экспериментальных стенов	Умение записать (желательно – вывести) уравнение диффузии нейтронов, уравнение возраста, умение пояснить их смысл и все входящие величины	Т1 ДЗ1 ДЗ2	УК-1 УКЕ -1
<b>3.2.</b> Знать методы проведения исследований и испытаний основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания	Умение записать условие критичности реактора, найти критические размеры реакторов различных форм, учесть влияние отражателя,	Т1 КР	УК-1 УКЕ -1
<b>3.3.</b> Знать стандартные пакеты прикладных	Уметь связать состав активных зон реакторов различных типов с их нейтронно-физическими	Т2	УК-1 УКЕ -1

Формулировка результата	Показатели освоения результата	Средства оценки	Формируемые компетенции
программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов	свойствами и конструкцией, неравномерностью энерговыведения		
<b>В результате освоения дисциплины студент должен уметь</b>			
<b>У.1.</b> Уметь проводить физический и численный эксперимент, подготовить соответствующие экспериментальные стенды	Рассчитать с использованием справочных данных макросечения и длины свободного пробега нейтронов заданной энергии до заданного вида взаимодействия	Д33 КР Т1	УК-1 УКЕ -1
<b>У.2.</b> Уметь проводить исследования и испытания основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания	Решить уравнение диффузии для гомогенного реактора или источника нейтронов простой формы; определить спектр замедляющихся нейтронов в среде заданного состава	Д34 Т2	УК-1 УКЕ -1
<b>У.3.</b> стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов	Рассчитать критические параметры реактора в форме сферы, параллелепипеда, цилиндра, пластины (критические размеры, критическое обогащение, макросечение поглощения и т.п.)	Д34 КР Т2	УК-1 УКЕ -1
<b>В результате освоения дисциплины студент должен владеть</b>			
<b>В.1.</b> Владеть методами проведения физического и численного эксперимента и подготовки соответствующих экспериментальных	Умение найти требуемые свойства необходимых нуклидов, включая свойства радиоактивности и нейтронные сечения	Д31-4	УК-1 УКЕ -1

Формулировка результата	Показатели освоения результата	Средства оценки	Формируемые компетенции
стендов			
<b>В.2.</b> Владеть методами проведения исследований и испытаний основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания	Программирование в математических пакетах или электронных таблицах расчетов, требующих многократного повторения однотипных вычислений, в т.ч. и итерационных	ДЗ1-4	УК-1 УКЕ -1
<b>В.3.</b> Владеть навыками работы со стандартными пакетами прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов	Программирование в математических пакетах или электронных таблицах расчетов, требующих многократного повторения однотипных вычислений, в т.ч. и итерационных	ДЗ1-4	УК-1 УКЕ -1

## Перечень оценочных средств

Практические работы	Конечный продукт, получаемый в результате выполнения комплекса учебных заданий в соответствии с заданным алгоритмом проведения работ. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.	Комплект практических работ.
Собеседование (устный опрос)	Средство контроля, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины

### 3. Оценочные средства.

#### 3.1. Домашние задания

Для выполнения заданий студентам выдаются индивидуальные элементы с номерами  $Z = 30 + N$ , где  $N$  – порядковый номер в журнале группы.

##### 3.1.1. ДЗ1-2. Справочные сведения по выбранному элементу

ДЗ1

- а) Выбрать химический элемент ( $30 + \text{порядковый номер в журнале группы}$ )
- б) Найти данные о распространенности элемента в природе и его использовании людьми.
- в) Найти изотопный состав природной смеси и радиоактивные изотопы, имеющие периоды полураспада более 1 мс.
- г) Построить таблицу (изотоп, тип распада, энергия распада по видам частиц, активность 1 г)

Далее ДЗ2

- д) Для выбранного химического элемента ( $30 + \text{порядковый номер в журнале группы}$ ) рассчитать энергию связи основных изотопов (изотопы природной смеси и радиоактивные изотопы, имеющие периоды полураспада более 1 мс.).

- е) Использовать прямой метод и формулу Вайцзекера (для прямого метода нужно использовать таблицу нуклидов на CLP4NET – Таблица изотопов.pdf)
- ж) Построить график зависимостей энергии связи на один нуклон от  $A$
- з) Оформить результаты выбора данных и расчетов.

### **3.1.2. ДЗ3 Расчет макросечений простого элемента**

- а) Выбрать для своего номера элемента любой стабильный изотоп.
- б) Выбрать для энергий 0,025 эВ, 1 кэВ, 1 МэВ из системы JANIS значения микросечения захвата и упругого рассеяния
- в) Вычислить макросечения захвата и упругого рассеяния для выбранного изотопа

Что нужно знать

- Как пользоваться системой JANIS
- Формулу для расчета концентрации ядер известного элемента
- Плотность выбранного элемента
- Формулу для расчета макросечения

### **3.1.7. ДЗ4. Расчет критических размеров реактора**

Рассчитать критический размер реактора, представляющего из себя цилиндр с диаметром, равным высоте, состоящий из гомогенной смеси графита и двуокиси урана. Энергию нейтронов принять 0,025 эВ. Обогащение топлива по U-235 принять равным  $(N+30)/10$  (%), где  $N$  – порядковый номер студента в журнале группы

Домашние задания сдаются в бумажной или электронной форме (в формате .pdf), по требованию преподавателя погут быть загружены в систему CLP.MERPHI.RU

#### **Критерии оценки по домашним заданиям:**

1. Правильность выполнения задания
2. Наличие пояснений к формулам и используемым величинам, корректное округление результатов расчетов, корректное использование единиц измерений.

Шкала оценивания (максимальное количество баллов за одно домашнее задание – 5 баллов – см. п.2.)



5 баллов из 5 – ставится при наличии правильно выполненного домашнего задания, а также при наличии незначительных ошибок (см. критерии выше, п. 2), которые полностью устранены при повторной сдаче;

4 балла из 5 – ставится при наличии значимых ошибок студента, которые при повторной сдаче полностью устранены;

2-3 балла из 5 – ставится при наличии значимых ошибок, которые полностью устранены не с первого раза и при помощи преподавателя;

1 балл из 5 – ставится при осмысленных попытках выполнить домашнее задание, не доведенных до конца;

0 баллов – ставится при невыполнении домашнего задания.

### **3.2. Тесты**

#### **Тест Т1. Раздел «Основы ядерной физики и нейтронное поле в ядерном реакторе»**

1. Нуклид – это
  - А) Молекула определенного состава
  - Б) Химический элемент с определенным номером
  - В) Ядро с определенным числом протонов и нейтронов
2. Наибольшей (по модулю) энергией связи обладают ядра с массовым числом
  - А) 1-10
  - Б) 50-60
  - В) 200-240
3. Альфа-активные ядра находятся на карте изотопов в области
  - А) Легких ядер
  - Б) Средних ядер
  - В) Тяжелых элементов
4. Образование электрон-позитронной пары возможно для фотонов энергий
  - А) Любых
  - Б) Более, чем энергия, соответствующая массе покоя электрона
  - В) Более, чем удвоенная энергия, соответствующая массе покоя электрона
  - Г) Такая реакция невозможна
5. Если ядро поглощает нейтрон, промежуточным продуктом реакции (до испускания вторичной частицы) является

А)

Б)

В)

Г)

6. Укажите неизвестную частицу в реакции
- А) Вторичный нейтрон
  - Б) Протон
  - В) Позитрон
  - Г) Электрон
7. Плотность потока нейтронов (или иных частиц) – это
- А) Число нейтронов, пересекающих выбранную элементарную площадку в пространстве в определенном направлении в единицу времени
  - Б) Число нейтронов, испускаемых выбранной точкой пространства в единицу времени
  - В) Число нейтронов, пересекающих во всех направлениях поверхность элементарной сферы в единицу времени
8. Микросечение захвата большинства ядер зависит от энергии как
- А)  $\sigma_a = \text{const} \cdot (E)^{-0.5}$
  - Б)  $\sigma_a = \text{const} \cdot (E)^{-1}$
  - В)  $\sigma_a = \text{const} \cdot (v)^{-2}$ , где  $v$  – скорость нейтронов
9. В среде имеется концентрация тепловых нейтронов (с энергией 0,025 эВ), равная  $10^{10}$ . Найдите плотность потока нейтронов? Массу нейтрона принять приближенно  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг. Постоянная Больцмана  $k = 8.62 \cdot 10^{-5}$  эВ/К.
- А)  $\Phi = 2,2 \cdot 10^{15}$  1/(см<sup>2</sup>·с).
  - Б)  $\Phi = 2,2 \cdot 10^{13}$  1/(см<sup>2</sup>·с).
  - В) Данных для решения задачи недостаточно, необходима скорость нейтронов.
10. Наибольшая часть энергии, выделяющейся при делении ядра, высвобождается в форме
- А) Кинетической энергии мгновенных нейтронов деления
  - Б) Кинетической энергии осколков деления
  - В) Энергии мгновенных гамма-квантов
  - Г) Энергии бета- и гамма- распадов осколков деления
11. Транспортная длина – это
- А) Средняя длина, на которую смещается тепловой нейтрон из точки рождения до точки поглощения.
  - Б) Средняя длина, на которую смещается тепловой нейтрон из точки рождения до точки поглощения в первоначальном направлении
  - В) Средняя длина, на которую смещается тепловой нейтрон из точки рождения в первоначальном направлении за бесконечное число столкновений в непоглощающей среде
12. Пороговые нуклиды
- А) Это нуклиды, которые эффективно делятся нейтронами с энергией не ниже порога
  - Б) Это нуклиды, которые эффективно делятся нейтронами с энергией не выше порога
  - В) Это нуклиды, которые при делении испускают нейтроны с энергией не выше порога
13. Запаздывающие нейтроны появляются

- А) Из осколков деления, имеющих избыточное число нейтронов
  - Б) Из ядер топлива, претерпевающих спонтанное деление
  - В) После процесса замедления на легких ядрах
14. Выберите выражение, **не** имеющее отношение к диффузионному приближению
- А) Нейтрон-нейтронным взаимодействием пренебрегают
  - Б) Среда считается гомогенной, слабопоглощающей
  - В) Нейтроны имеют одну и ту же среднюю энергию
  - Г) Среда состоит из одного и того же вида ядер
15. Для управляемого набора мощности
- А) коэффициент размножения не должен превышать единицу
  - Б) коэффициент размножения на мгновенных нейтронах не должен превышать единицу
  - В) коэффициент размножения на мгновенных нейтронах не должен превышать  $1+\beta$ , где  $\beta$  – доля запаздывающих нейтронов.
  - Г) коэффициент размножения не должен превышать  $1-\beta$ .

## Тест Т2. Раздел «Диффузия и замедление нейтронов в ядерном реакторе»

1. Плотность потока нейтронов (или иных частиц) – это
- А) Число нейтронов, пересекающих выбранную элементарную площадку в пространстве в определенном направлении в единицу времени
  - Б) Число нейтронов, испускаемых выбранной точкой пространства в единицу времени
  - В) Число нейтронов, пересекающих во всех направлениях поверхность элементарной сферы в единицу времени
2. Микросечение захвата большинства ядер зависит от энергии как
- А)  $\sigma_a = \text{const} \cdot (E)^{-0.5}$
  - Б)  $\sigma_a = \text{const} \cdot (E)^{-1}$
  - В)  $\sigma_a = \text{const} \cdot (v)^{-2}$ , где  $v$  – скорость нейтронов
3. В среде имеется концентрация тепловых нейтронов (с энергией 0,025 эВ), равная  $10^{10}$ . Найдите плотность потока нейтронов? Массу нейтрона принять приближенно  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг. Постоянная Больцмана  $k=8.62 \cdot 10^{-5}$  эВ/К.
- А)  $\Phi = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ 1}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .
  - Б)  $\Phi = 2,2 \cdot 10^{13} \text{ 1}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .
  - В) Данных для решения задачи недостаточно, необходима скорость нейтронов.
4. Имеется смесь воды и урана. Выберите верную формулу для определения ее макросечения взаимодействия.  $\rho$  – плотность ядер ( $1/\text{см}^3$ ),  $\sigma$  – микросечение ( $\text{см}^2$ )
- А)
  - Б)
  - В)
5. Транспортная длина – это
- А) Средняя длина, на которую смещается тепловой нейтрон из точки рождения до точки поглощения.

- Б) Средняя длина, на которую смещается тепловой нейтрон из точки рождения до точки поглощения в первоначальном направлении
- В) Средняя длина, на которую смещается тепловой нейтрон из точки рождения в первоначальном направлении за бесконечное число столкновений в непоглощающей среде
6. Выберите выражение, **не** имеющее отношение к диффузионному приближению
- А) Нейтрон-нейтронным взаимодействием пренебрегают
- Б) Среда считается гомогенной, слабопоглощающей
- В) Нейтроны имеют одну и ту же среднюю энергию
- Г) Среда состоит из одного и того же вида ядер
7. Замедлитель в ядерном реакторе необходим, потому что
- А) Он поглощает избыточные нейтроны, компенсируя запас реактивности
- Б) Биологический вред от медленных нейтронов ниже в 5-10 раз.
- В) Он замедляет ядерную реакцию, не допуская разгона реактора
- Г) Сечения деления топливных ядер на 2-3 порядка выше на медленных нейтронах
8. Выберите правильное граничное условие для решения уравнения диффузии на границе раздела сред 1 и 2.
- А)  $\Phi_1(R)=\Phi_2(R)$
- Б)  $J_{1+}(R)=J_{2+}(R)$
- В)  $J_{1-}(R)=J_{2-}(R)$
- Г) нет необходимости в назначении граничных условий
9. Выберите правильное граничное условие на границе среды с вакуумом; геометрию считать одномерной.
- А)  $\Phi(0)=0$
- Б)  $\Phi(R)=0$ , где  $R$  – координата границы с вакуумом
- В)  $\Phi(R+0,71\lambda_{tr})=0$ , где  $R$  – координата границы с вакуумом
- Г)  $\Phi(R+0,71\lambda_{tr})$ , где  $R$  – координата границы с вакуумом
10. Определите плотность потока нейтронов  $\Phi$  от точечного изотропного источника нейтронов мощностью  $q$  на расстоянии  $R$  от него в вакууме.

А)

Б)  $\Phi = \frac{q}{4\pi R^2}$

В)  $\Phi = \frac{q}{\pi R^2}$

Г)  $\Phi = q \times 4\pi R^2$

11. Наибольшая потеря энергии нейтрона при одном столкновении наблюдается
- А) На тяжелых ядрах ( $A=220-250$ ).
- Б) На ядрах водорода ( $A=1$ ).
- В) На легких ядрах ( $A=1-10$ ).
- Г) На средних ядрах с максимальной энергией связи ( $A=50-60$ ).
12. Наиболее близкое к изотропному рассеяние наблюдается
- А) На тяжелых ядрах ( $A=220-250$ ).

- Б) На ядрах водорода ( $A=1$ ).
- В) На легких ядрах ( $A=1-10$ ).
- Г) На средних ядрах с максимальной энергией связи ( $A=50-60$ ).
13. Выберите предположения, необходимые, чтобы решить стационарное уравнение диффузии в гомогенном реакторе цилиндрической формы (две координаты – осевая  $z$  и радиальная  $r$ )
- А) Плотность потока нейтронов равномерно распределена по реактору, т.е. утечка нейтронов отсутствует
- Б) Плотность потока нейтронов  $\Phi(r,z)$  может быть представлена как произведение двух независимых компонент  $R(r) \cdot Z(z)$
- В) Может быть записано граничное условие для раздела среда/вакуум на физической границе активной зоны
- Г) Может быть записано граничное условие для раздела среда/вакуум на экстраполированной границе активной зоны
14. Выберите верные утверждения, отражающие условие критичности реактора
- А) Плотность потока нейтронов равномерно распределена по реактору, т.е. утечка нейтронов отсутствует
- Б) Число нейтронов предыдущего поколения в точности равно числу нейтронов следующего
- В) Материальный параметр реактора равен геометрическому
- Г) Реактивность реактора равна единице
15. В кинематике столкновения нейтрона и ядра делаются следующие предположения
- А) Столкновение упруго, т.е. реакция – упругое рассеяние, неупругое рассеяние не описывается кинематикой
- Б) В лабораторной системе отсчета ядро покоится, а нейтрон налетает на него со скоростью  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_n}{m_n}}$ , где  $E_n$  – энергия нейтрона,  $m_n$  – его масса.
- В) В лабораторной системе отсчета центр масс системы ядро-нейтрон покоится
- Г) Столкновение упруго или неупруго (резонансное рассеяние), для записи уравнений кинематики это безразлично.

**Критерии оценки** (максимальное количество баллов – 10 баллов):

За тест выставляется

10 баллов – при ответе на 15 вопросов;

9 – при ответе на 14 вопросов

8 – при ответе на 13 вопросов

7 – при ответе на 12 вопросов

6 – при ответе на 11 вопросов

5 – при ответе на 10 вопросов

4 – при ответе на 9 вопросов

0 – при 8 и менее правильных ответах.

### 3.3. Практическая работа

1. Дайте определение термину (по вариантам)
2. Запишите формулу, связывающую величины (по вариантам). Дайте пояснения по величинам, входящим в формулу (наименование, размерность)
3. Определите длину свободного пробега теплового нейтрона до поглощения в смеси топлива и замедлителя заданного состава

#### Варианты

Вариант	Термин	Величины, для которых следует записать формулу
1	Нуклид	Связать скорость реакции деления с плотностью потока нейтронов
2	Элемент	Записать уравнение диффузии нейтронов
3	Плотность потока нейтронов	Связать вектор тока нейтронов с плотностью потока нейтронов
4	Нуклид	Связать плотность потока нейтронов с их концентрацией
5	Пороговый нуклид	Записать неизвестное ядро в реакции $^{238}\text{U} + n \rightarrow X + \gamma$
6	Делящийся нуклид	Связать активность радиоактивного вещества с его массой
7	Мгновенные нейтроны	Связать макросечение и микросечение данного вида реакции
8	Нейтронное сечение реакции	Связать энергию, полученную при делении U-235, с его массой
9	Альфа-распад	Связать тепловую мощность реактора и макросечение деления в нем
10	Бета-распад	Связать скорость нейтрона и его энергию
11	Радиационный захват	Записать уравнение диффузии нейтронов
12	Коэффициент размножения	Связать тепловую мощность реактора с плотностью потока нейтронов в нем
13	Изотоп	Записать неизвестное ядро в реакции $^4\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow ^7\text{Li} + X$
14	Цепная реакция деления	Связать скорость реакции поглощения с плотностью потока нейтронов
15	Тепловые нейтроны	Связать концентрацию ядер и массовую плотность элемента
16	Быстрые нейтроны	Связать пробег теплового нейтрона с макросечением поглощения в среде
17	Диффузия нейтронов	Связать макросечения среды и коэффициент размножения в ней
18	Плотность нейтронов	Записать неизвестное ядро в реакции

		$^{235}\text{U} + n \rightarrow X + \gamma$
19	Замедление нейтронов	Связать тепловую мощность реактора с плотностью потока нейтронов в нем
20	Критический реактор	Связать активность радиоактивного вещества с его массой
21	Надкритический реактор	Связать активность радиоактивного вещества в начальный и произвольный моменты времени
22	Подкритический реактор	Связать коэффициент диффузии нейтронов с макроскопическими параметрами среды
23	Плотность тока нейтронов	Связать концентрацию молекул, объем и массу вещества

### Исходные данные к задаче 3

Вариант	Металлическое топливо. Массовые доли компонент, %			Замедлитель	
	$^{235}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	Вид	Объемная доля замедлителя в смеси
1	2	98	0	Вода	70
2	2,5	97,5	0	Вода	70
3	3	97	0	Вода	70
4	3,5	96,5	0	Вода	70
5	4	96	0	Вода	70
6	4,5	95,5	0	Графит	90
7	5	95	0	Графит	90
8	12	88	0	Графит	90
9	15	85	0	Графит	90
10	20	80	0	Графит	90
11	2	96,5	1,5	Вода	80
12	2,5	96	1,5	Вода	80
13	3	95,5	1,5	Вода	80
14	3,5	95	1,5	Вода	80
15	4	94,5	1,5	Вода	80
16	4,5	94	1,5	Графит	95
17	5	93,5	1,5	Графит	95
18	12	86	2	Графит	95
19	15	82,5	2,5	Графит	95
20	20	75	5	Графит	95
21	2	97,5	0,5	Вода	85
22	2,5	97	0,5	Вода	85
23	3	96,5	0,5	Вода	85
24	3,5	95,5	1,0	Вода	85

25	4	95	1,0	Вода	85
----	---	----	-----	------	----

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Энергия тепловых нейтронов 0,025 эВ

U-235:  $\sigma_s = 10,0$      $\sigma_f = 584$      $\sigma_{n\gamma} = 110$  барн

U-238:  $\sigma_s = 8,30$      $\sigma_f = 0$      $\sigma_{n\gamma} = 2,71$  барн

Вода:  $\sigma_s = 46,0$      $\sigma_f = 0$      $\sigma_{n\gamma} = 0,66$  барн

Графит:  $\sigma_s = 4,80$      $\sigma_f = 0$      $\sigma_{n\gamma} = 0,0037$  барн

Pu-239:  $\sigma_s = 9,00$      $\sigma_f = 742$      $\sigma_{n\gamma} = 286$  барн

Массовую плотность металлического топлива принять  $19 \text{ г/см}^3$ ; воды  $1 \text{ г/см}^3$ ; графита  $1,65 \text{ г/см}^3$

## ОБРАЗЕЦ ОТВЕТА НА ВОПРОС 2

Вопрос: «Связать объем призмы произвольной формы с ее высотой»

Ответ: «Объем призмы ( $\text{м}^3$ ) составляет  $V = S_{\text{осн}} \times H$ , где

$S_{\text{осн}}$  – площадь основания призмы ( $\text{м}^2$ ),  $H$  – высота призмы (м)».

## Критерии оценки практической работы

Критерии оценки знаний по дисциплине:

8 баллов – верно выполнены все три задания

6-7 баллов – в одном задании допущены неточные формулировки, незначительные ошибки при верном изложении решения.

4-5 баллов – при наличии некритичных неточностей во всех трёх пунктах, не искажающих физический смысл, при арифметических ошибках в задаче.

0 баллов – в случае, если одно или более из заданий выполнены полностью неверно.



### 3.4. Задания для проведения зачёта.

Зачет по дисциплине «Теория переноса нейтронов» проводится в письменной и устной форме. На диф.зачет предлагаются билеты, содержащие по одному теоретическому вопросу и по одной задаче. На подготовку отводится 30 минут, время ответа не более 2-3 минут.

#### 3.4.1. Вопросы к зачету.

##### Часть 1

1. Общая классификация элементарных частиц. Молекула. Атом. Ядро. Понятие «элемент», «нуклид». Свойства ядерных сил. Изотопы, изотоны, изобары. Зеркальные ядра. База нуклидов JANIS
2. Модели ядра. Свойства ядерных сил. Дефект массы и энергия связи.
3. Зависимость удельной энергии связи от массового числа. Энергетический спектр ядер. Изомеры.
4. Радиоактивность и ее виды. Активность изотопов. Закон радиоактивного распада. Радиоактивное равновесие. Альфа- и бета-распад, их особенности.
5. Воздействие ионизирующего излучения на организм. Дозы излучения. Последствия
6. Взаимодействие излучения с атомами и ядрами (фотоэффект, комптон-эффект, фотоядерная реакция, рождение электрон-позитронных пар). Эффект Мёссбауэра.
7. Ядерные реакции. Прямое взаимодействие. Составное ядро. Эффективное микросечение реакции данного вида  $\sigma$ . Закон  $1/v$  для микросечений. База нейтронных сечений JANIS.
8. Особенности реакций под действием заряженных частиц. Туннелирование, надбарьерное отражение.
9. Виды нейтронных реакций. Резонансные реакции. Источники нейтронов и их принцип действия.
10. Сырьевые (воспроизводящие, пороговые, делимые) нуклиды. Топливные или делящиеся нуклиды.
11. Реакция деления. Цепная реакция деления. Зависимость удельного выхода от массового числа ядер-осколков. Наиболее вероятное отношение масс и энергий осколков.
12. Цепная реакция деления. Распределение энергии при распаде топливного ядра. Механизм образования тепла в ядерном реакторе (ЯР).
13. Классификация ядерных реакторов. Схемы АЭС.
14. Эффективный коэффициент размножения нейтронов. Реактивность. Кинетика на мгновенных нейтронах.
15. Запаздывающие нейтроны. Роль мгновенных и запаздывающих нейтронов в управлении ЯР. Период реактора.
16. Выгорание топлива в ядерном реакторе. Отравление ксеноном (кратко).
17. Спектры энергии нейтронов в тепловом ЯР. Понятие «термализация нейтронов». Отличия обычного и нейтронного газов. Вычисление по известной функции распределения нейтронов по энергиям средней, наиболее вероятной и медианной энергий спектра.
18. Характеристики нейтронного поля: спектр нейтронов, плотность нейтронов, плотность потока нейтронов, плотность тока нейтронов. Флюенс.
19. Скорость реакции данного вида для моноэнергетических нейтронов. Макроскопическое сечение.

## Часть 2

20. Длина свободного пробега нейтронов. Физический смысл этих величин. Слабо- и сильнопоглощающая нейтроны среда.
21. Диффузия нейтронов. Закон Фика для нейтронов. Диффузионное приближение, условия его применимости. Выражения для односторонних токов нейтронов.
22. Транспортная длина рассеяния, транспортная длина и макросечение. Использование транспортных величин в уравнении диффузии
23. Утечка, поглощение и генерация нейтронов. Баланс нейтронов.
24. Уравнение диффузии для неделящейся (слабоделящейся) и размножающей среды. Длина диффузии. Материальный параметр реактора.
25. Интегральное уравнение для потока моноэнергетических нейтронов Пайерлса и кинетическое уравнение Больцмана (ознакомительно).
26. Граничные и прочие условия для нахождения решения уравнения диффузии для элементарных геометрий. Экстраполированная граница и экстраполированная длина. Методика решения уравнения диффузии.
27. Пример решения уравнения диффузии для неразмножающей среды в случае сферической симметрии с точечным источником нейтронов в центре. Длина диффузии, ее смысл.
28. Общее решение уравнения диффузии в случае неразмножающей среды для плоской геометрии (голый ЯР – без отражателя).
29. Влияние отражателя. Альbedo.
30. Одногрупповое (односкоростное) диффузионное приближение. Понятие о многогрупповом приближении.
31. Кинематика столкновений. Центр масс (инерции) и определение его положения. Рассеяние (замедление) нейтронов на ядрах среды в ЛСК и СЦИ. Изо- и анизотропное рассеяние. Транспортные величины.
32. Зависимость потери энергии от угла рассеяния и массового числа. Минимальная и максимальная потеря энергии. Ступенька замедления. Функция распределения рассеянного нейтрона по энергии (летаргии) в пределах ступеньки замедления.
33. Среднелогарифмическая потеря энергии в одном столкновении. Летаргия. Замедляющая и поглощающая способность среды. Коэффициент замедления среды. Достоинства и недостатки применяемых замедлителей.
34. Уравнение замедления нейтронов в бесконечной среде. Энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в бесконечной гомогенной непоглощающей среде для легких ядер (водорода), тяжелых ядер и смеси ядер. Спектр Ферми.
35. Замедление на легких ядрах (водороде,  $A=1$ ) с поглощением. Вероятность избежать поглощения при замедлении нейтронов. Замедление на тяжелых ядрах ( $A>1$ ) с поглощением.
36. Модель непрерывного замедления. Уравнение замедления в диффузионном приближении и диффузионно-возрастном приближении. Возраст нейтронов. Уравнение возраста, граничные и прочие условия для нахождения решения уравнения возраста.
37. Время замедления и время диффузии нейтронов. Мгновенные и запаздывающие нейтроны. Время жизни поколения. Длина диффузии и длина миграции. Площадь миграции. Методика оценочного расчета возраста и времени замедления нейтронов в различных средах.

38. Нейтронный цикл в ядерном реакторе. Формула четырех сомножителей. Эффективный коэффициент размножения нейтронов для бесконечной и конечной сред. Различные условия критичности ЯР.

### Критерии оценки

Критерии оценки знаний по дисциплине:

40 баллов – на теоретические вопросы получены полные правильные ответы, задача из билета решена верно с первого раза. Студент свободно оперирует терминологией и математическим аппаратом дисциплины «Теория переноса нейтронов»

35-39 балла – на теоретические вопросы (включая дополнительные) получены правильные ответы, задача из билета решена верно. Студент свободно оперирует терминологией и математическим аппаратом дисциплины «Теория переноса нейтронов».

30-34 баллов – на теоретические вопросы (включая дополнительные) получены неполные ответы, задача из билета решена верно после замечаний преподавателя. Терминология используется корректно, математический аппарат

24-29 баллов – на теоретические вопросы (включая дополнительные) получены фрагментарные ответы, терминология и математический аппарат дисциплины используются неуверенно и местами некорректно. Основные понятия дисциплины студенту при этом знакомы.

0 баллов – на теоретические вопросы получены фрагментарные ответы или не получены. Дополнительные вопросы ставят в тупик. Задача из билета не решена. Терминология и математический аппарат не освоены.

Итоговая сумма баллов	Оценка по 4-бальной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS	Градация
90-100	отлично	зачтено	A	отлично
85-89	хорошо		B	очень хорошо
75-84			C	хорошо
70-74			D	удовлетворительно
65-69			удовлетворительно	E
60-64	F			неудовлетворительно
ниже 60	неудовлетворительно	не зачтено	F	неудовлетворительно

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 1

Идентифицировать частицу X в следующих случаях:

1.  $^{10}\text{B} + \text{X} \rightarrow ^7\text{Li} + \alpha$ ;
2.  $^{35}\text{Cl} + \text{X} \rightarrow ^{32}\text{S} + \alpha$ ;

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 2

Идентифицировать частицу X в следующих случаях:

1.  $^{23}\text{Na} + \text{d} \rightarrow ^{24}\text{Mg} + \text{X}$ ;
2.  $^{23}\text{Na} + \text{d} \rightarrow ^{24}\text{Na} + \text{X}$ .

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 3

Идентифицировать частицу X в следующих случаях:

1.  $^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow \text{X} + \gamma$ ;
  2.  $^{16}\text{O} + \text{n} \rightarrow \text{X} + \text{p}$ .
-

---

### НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 4

Определить энергетический выход реакции Q, пользуясь картой нуклидов:

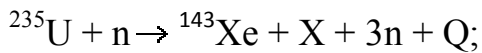


---

### НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 5

Определить энергетический выход реакции Q, пользуясь картой нуклидов:

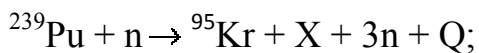


---

### НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 6

Определить энергетический выход реакции Q, пользуясь картой нуклидов:



---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 7

Найти активность одного грамма природного металлического урана. Изотопный состав урана считать следующим (даны массовые доли)

$$^{238}\text{U} - 99,27\%, T_{1/2} = 7,1 \times 10^8 \text{ лет } (\alpha)$$

$$^{234}\text{U} - 0,0055\%, T_{1/2} = 2,5 \times 10^5 \text{ лет } (\alpha)$$

$$^{235}\text{U} - 0,7200\%, T_{1/2} = 4,5 \times 10^9 \text{ лет } (\alpha)$$

Прочими составляющими природного урана пренебречь

---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 8

Найти массу одного кюри ( $3,7 \times 10^{10}$  Бк) природного металлического урана. Изотопный состав урана считать следующим (даны массовые доли)

$$^{238}\text{U} - 99,27\%, T_{1/2} = 7,1 \times 10^8 \text{ лет } (\alpha)$$

$$^{234}\text{U} - 0,0055\%, T_{1/2} = 2,5 \times 10^5 \text{ лет } (\alpha)$$

$$^{235}\text{U} - 0,7200\%, T_{1/2} = 4,5 \times 10^9 \text{ лет } (\alpha)$$

Прочими составляющими природного урана пренебречь

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**Дисциплина: теория переноса нейтронов

Экзаменационная задача № 9

Найти активность ядерного боеприпаса весом 5 кг металлического плутония. Изотопный состав оружейного плутония считать следующим (даны массовые доли)

 $^{239}\text{Pu} - 93,6\%, T_{1/2} = 24100 \text{ лет } (\alpha)$  $^{240}\text{Pu} - 6,4\%, T_{1/2} = 6560 \text{ лет } (\alpha)$  $^{241}\text{Pu} - 0,6\%, T_{1/2} = 14,1 \text{ года } (\alpha)$ 

Прочими составляющими боеприпаса пренебречь

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**Дисциплина: теория переноса нейтронов

Экзаменационная задача № 10

Найти длину пробега до рассеяния теплового нейтрона в реакторном графите. Плотность графита принять  $1,65 \text{ г/см}^3$ , микросечение рассеяния при энергии  $0,0253 \text{ эВ}$  составит  $4,94 \text{ барн}$ .

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**Дисциплина: теория переноса нейтронов

Экзаменационная задача № 11

Найти число столкновений до поглощения теплового нейтрона в воде. Плотность воды принять  $1,0 \text{ г/см}^3$ , микросечение рассеяния при энергии  $0,0253 \text{ эВ}$  составит  $46 \text{ барн}$ , микросечение захвата –  $0,66 \text{ барн}$  (значения усреднены на одну молекулу воды).

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**Дисциплина: теория переноса нейтронов

Экзаменационная задача № 12

Найти длину пробега до деления теплового нейтрона в уран-водной смеси (бак с 10 л раствора урановой соли содержит 2 кг U-235). Микросечение деления при энергии, характерной для данного реактора (для справки: 0,0345 эВ), составит 429 барн.

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 13

На лист из кадмия толщиной 1 мм падает поток тепловых нейтронов, равный  $10^{12}$   $1/(\text{см}^2 \times \text{с})$ . Найти среднее микросечение захвата кадмия, если плотность потока нейтронов за листом составит  $9,3 \times 10^6$   $1/(\text{см}^2 \times \text{с})$ , а плотность кадмия равна  $8,65$   $\text{г}/\text{см}^3$ .

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 14

Найти толщину слоя воды, ослабляющего поток быстрых нейтронов, равный  $10^{10}$   $1/(\text{см}^2 \times \text{с})$ , до допустимого для человека значения  $300$   $1/(\text{см}^2 \times \text{с})$ . Плотность воды считать равной  $1,0$   $\text{г}/\text{см}^3$ , микросечение рассеяния  $46$  барн, захвата –  $0,66$  барн. Считать, что нейтрон, рассеявшийся в воде, перестает быть быстрым.

---

---

**НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 15

Найти энергию, которая может быть получена из 1 кг U-235 в ядерном реакторе, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии, а каждое шестое ядро урана при облучении в ядерном реакторе «сгорает» без деления. Ответ выразить в Дж и МВт $\times$ сут.

---



---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 16

Найти энергию, которая может быть получена из 1 кг двуокиси урана, обогащенной до 4% по U-235, в ядерном реакторе, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии, а каждое шестое ядро урана при облучении в ядерном реакторе «сгорает» без деления.

---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 17

Найти энергию, запасенную в 1 кг воды, если для получения энергии используется реакция  ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \Rightarrow {}^4\text{He} + Q$ .

Массовое содержание тяжелой воды в природной 0,003%. Масса дейтерия 2,01410 а.е.м., масса гелия 4,00260 а.е.м.

Используйте коэффициент перевода единиц 931 МэВ/а.е.м.

---

---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 18

Найти плотность потока нейтронов в гомогенном уран-водном реакторе (бак с 10 л раствора урановой соли содержит 1,5 кг U-235). Микросечение деления при энергии, характерной для данного реактора (для справки: 0,0345 эВ), составит 429 барн. Мощность реактора 20 кВт (тепловых), энергия деления одного ядра составляет 200 МэВ.

---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 19

Найти тепловую мощность реактора ВВЭР, если известно, что в активной зоне объемом 27 куб.м. находится 80 тонн двуокиси урана, обогащенного до 4% по U-235, а плотность потока нейтронов в данном режиме (этап физического пуска) составляет  $10^{11}$  1/(см<sup>2</sup>×с). Микросечение деления урана принять равным 580 барн.

---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 20

Найти тепловую мощность реактора ВВЭР, если известно, что в активной зоне объемом 27 куб.м. 30% этого объема занимает двуокись урана плотностью 9500 кг/м<sup>3</sup>, обогащенная до 4% по U-235, а плотность потока нейтронов в данном режиме (этап физического пуска) составляет  $10^{10}$  1/(см<sup>2</sup>×с). Микросечение деления урана принять равным 580 барн.

---

## НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов

## Экзаменационная задача № 21

Сколько U-236 будет наработано в реакторе за сутки, если реактор работает на урановом топливе на мощности 900 МВт? Полное микросечение поглощения U-235 принять 375 барн, деления – 320 барн; считать, что взаимодействие нейтронов с ядрами U-235 – либо деление, либо радиационный захват. Выход энергии деления одного ядра принять 200 МэВ

---

---

### НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 22

Сколько Pu-240 образуется в реакторе в секунду, если реактор работает на топливе из Pu-239 на мощности 900 МВт? Полное микросечение поглощения Pu-239 принять 1000 барн, деления – 700 барн; считать, что взаимодействие нейтронов с ядрами Pu-239 – либо деление, либо радиационный захват. Выход энергии деления одного ядра принять 210 МэВ.

---

---

### НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 23

Какая активность  $^{64}\text{Cu}$  будет наработана в детекторе нейтронного потока, если его облучали одни сутки промежуточными нейтронами с плотностью потока  $\Phi=10^{13} \text{ 1}/(\text{см}^2 \times \text{с})$ ? Сечение захвата чувствительного элемента  $^{63}\text{Cu}$  принять 4,5 барн . Период полураспада  $^{64}\text{Cu}$  равен 12.7 сут. Детектор содержит 20 г  $^{64}\text{Cu}$  в чувствительном объеме 6 см<sup>3</sup>.

---

---

### НВПК НИЯУ МИФИ

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 24

Найти транспортную длину для теплового нейтрона в графите, если сечение захвата составляет 0,037 барн, сечение рассеяния 4,8 барн. Средний косинус угла рассеяния допускается вычислить по формуле  $\overline{\cos(\theta)} = \frac{2}{3A}$ , где A – массовое число ядра, на котором происходит рассеяние.

---

---

### **НВПК НИЯУ МИФИ**

Дисциплина: теория переноса нейтронов  
Экзаменационная задача № 25

Обогащение топлива по U-235 составляло 4% при загрузке топлива и 2,5% при извлечении из активной зоны. Глубина выгорания топлива составила 20 МВт×сут с 1 кг загруженного урана. Сколько ядер Pu-239 разделилось на каждый загруженный килограмм урана?

---