

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



Титова Л. В.
22.04.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.05 Теория переноса нейтронов

1. Код и наименование специальности:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

2. Специализация:

Проектирование и эксплуатация атомных станций

3. Квалификация выпускника: инженер – физик

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

д.ф-м.н., профессор, Кадменский Станислав Георгиевич, к.ф.м.н., доцент Долгополов
Михаил Анатольевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №4 от 18.04.2025 г.

8. Учебный год: 2027-2028

Семестр(ы): 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ввод студентов в круг понятий, представлений и моделей, используемых в задачах нейтронной физики и физики реакторов;
- подготовить их к изучению физической теории реакторов, методов экспериментального и расчетного исследования нейтронных полей и их характеристик.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать у обучающихся представление о процессах, сопровождающих распространение нейтронов;
- привить и закрепить базовые навыки количественного описания процессов замедления, поглощения и диффузии нейтронов в активной зоне и конструкциях ядерного реактора.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Теория переноса нейтронов относится к вариативной части Блока 1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить производственно - технологические исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	ПК-1.3	Владеет решением математических, физических и химических задач в комплексной инженерной деятельности	Знать: теоретические основы описания процессов рассеяния, диффузии, замедления, резонансного захвата, поглощения делящимися, сырьевыми, отравляющими и другими ядрами, а также вопросов формирования пространственного и энергетического распределений нейтронов и методов их расчета;
ПК-6	Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты в стационарных и нестационарных режимах работы, обеспечивать оптимальные режимы работы ядерного реактора,	ПК-6.2	Проводит нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты оборудования АС и его элементов в стационарных и нестационарных режимах работы	Уметь: формулировать уравнения распространения и взаимодействия нейтронов в ядерных реакторах как в общем, так и в важнейших частных случаях; находить и применять решения этих уравнений для расчета важнейших процессов, протекающих в ядерных реакторах с участием нейтронов;
		ПК-6.3	Анализирует нейтронно-физические характеристики реактора в стационарных и нестационарных режимах его работы	Владеть: теорией и методами описания распространения и взаимодействия нейтронов в ядерных реакторах.

	тепломеханического оборудования и энергоблока АС			
ПК-8	Способен выполнять индивидуальный дозиметрический контроль облучения персонала организации атомной отрасли, обрабатывать результаты радиационного контроля организации атомной отрасли	ПК-8.3	Знает теорию радиоактивного излучения и радиоактивного распада, взаимодействия излучения с веществом, спектров ионизирующих излучений	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 5/180.

Форма промежуточной аттестации - экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			6 семестр
Аудиторные занятия		80	80
в том числе:	лекции	32	32
	практические	32	32
	лабораторные	16	16
Самостоятельная работа		64	64
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		36	Экзамен (36 ч.)
Итого:		180	180

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Основы ядерной и нейтронной физики	Свойства ядер и ядерные реакции. Взаимодействие нейтронов различных энергий с ядрами. Процесс деления и спектры нейтронов в ядерном реакторе. Нейтронный цикл в реакторе на тепловых нейтронах.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
1.2	Диффузия моноэнергетических нейтронов	Типичные траектории диффундирующего нейтрона. Уравнение диффузии. Граничные условия в центре, на границе раздела двух сред, на границе с вакуумом. Альбе́до тепловых нейтронов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
1.3	Основы теории замедления нейтронов в бесконечных средах	Законы упругого рассеяния нейтронов. Стационарное уравнение упругого замедления. Решение уравнения замедления в непоглощающей среде. Решение уравнения замедления в среде с захватом. Приближение Вигнера. Приближение Грюлинг-Герцеля. Резонансное поглощение в многокомпонентной среде.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
1.4	Пространственное распределение замедляющихся	Модель непрерывного замедления. Суперпозиции источников. Пределы применимости уравнения замедления	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238

	нейтронов		
2. Практические занятия			
2.1	Основы ядерной и нейтронной физики	Решение задач на изменение нуклидного состава	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
2.2	Диффузия моноэнергетических нейтронов	Решение задач на рассеяние нейтронов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
2.3	Основы теории замедления нейтронов в бесконечных средах	Решение задач на определение характеристик нейтронов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
2.4	Пространственное распределение замедляющихся нейтронов	Решение задач на вычисление возраста и времени замедления нейтронов в различных средах	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
3. Лабораторные занятия			
3.1	Основы ядерной и нейтронной физики	Расчёты изменения нуклидного состава	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
3.2	Диффузия моноэнергетических нейтронов	Спектры нейтронов ядерных реакторов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
3.3	Основы теории замедления нейтронов в бесконечных средах	Теория экспоненциального опыта	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238
3.4	Пространственное распределение замедляющихся нейтронов	Вычисление возраста и времени замедления нейтронов в различных средах	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29238

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Основы ядерной и нейтронной физики	8	8	4	16	36
2.	Диффузия моноэнергетических нейтронов	8	8	4	16	36
3.	Основы теории замедления нейтронов в бесконечных средах	8	8	4	16	36
4.	Пространственное распределение замедляющихся нейтронов	8	8	4	16	36
	Итого:	32	32	16	64	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов: учеб. пособие для вузов / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алхутов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Екб.: Изд-во ЮЛАНД, 2016. – 512 с.: ил...
2.	Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов (лабораторный практикум): учеб. пособие для вузов. 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ. 2010. – 192 с.
3.	Кузьмин А.В. Экспериментальное и расчетное определение возраста нейтронов деления в различных средах: учеб. пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ. 2011. – 208 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Стогов Ю.В. Основы нейтронной физики: Учеб. пособие. – МИФИ.–М: Издательство «Тривант», 2008. – 203 с., ил.
5.	Групповые константы для расчета реакторов и защиты: Справочник / Л.П. Абагян, Н.О. Базанянц, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля: Под ред. М.Н. Николаева. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
6.	Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 464 с.: ил.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
7.	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ.
8.	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ
9.	https://e.lanbook.com – ЭБС «Лань»
10.	https://www.studentlibrary.ru – ЭБС «Консультант студента»
11.	https://urait.ru – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
12.	https://rucont.ru - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Меррей Р. Физика ядерных реакторов. – М.:АИ, 1961. – с. 292

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;

– разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и метода.

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации

Специализированная мебель

Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основы ядерной и нейтронной физики	ПК-1 ПК-6 ПК-8	ПК-1.3 ПК-6.2 ПК-6.3 ПК-8.3	Практические задания, лабораторные работы, собеседование по вопросам к экзамену
2.	Диффузия моноэнергетических нейтронов			
3.	Основы теории замедления нейтронов в бесконечных средах			
4.	Пространственное распределение замедляющихся нейтронов			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Перечень вопросов к экзамену Пункт 20.2

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень практических и лабораторных заданий:

1. Показать, что $\varphi(\vec{r})$ численно равна длине пути, проходимой в единицу времени частицами в элементарном объеме, находящемся вблизи точки $\vec{r}$, деленной на величину элементарного объема.

2. Найти угловую плотность потока частиц в произвольной точке над плоским изотропным источником, испускающим ν част./($\text{см}^2\text{с}$).

3. Равномерный радиоактивный источник представляет собой полукольцо радиуса R , имеющее линейную активность ν . Считая выход фотонов на распад η известным, определить ток и поток частиц в центре полукольца.

4. Изотропный поверхностный источник, испускающий ν част./($\text{см}^2\text{с}$), равномерно покрывает поверхность полусферы радиусом R . Предполагая отсутствие поглощения внутри сферы, найти плотности потока и тока частиц в центре сферы.

5. Показать, что средний пробег фотона между взаимодействиями равен $1/\mu$.

6. Определить максимально возможную энергию фотонов после комптоновского рассеяния на угол $\theta_S = 180^\circ$.

7. Определить максимальное изменение длины волны фотона в результате комптоновского рассеяния.

8. Определить энергетическое распределение $f(T)$, МэВ^{-1} , электронов, образующихся при комптоновском рассеянии фотонов.

9. Найти средний косинус угла упругого рассеяния нейтронов в лабораторной системе координат, если в системе центра инерции угловое распределение рассеянных нейтронов является изотропным.

10. Пусть известно дифференциальное сечение рассеяния нейтрона в системе центра инерции $\sigma_S(E, \mu_c)$. Получить выражение для дифференциального сечения в лабораторной системе координат.

11. Упростить интегрально-дифференциальную форму стационарного уравнения переноса для случая бесконечной однородной среды с равномерно распределенными источниками.

12. Преобразовать стационарное уравнение переноса нейтронов из интегро-дифференциальной формы в интегральную форму.

13. Написать выражение для функции чувствительности детектора, измеряющего количество столкновений в единицу времени в заданной области V .

14. Получить решение уравнения элементарной теории диффузии в бесконечной однородной среде для точечного и плоского изотропных источников единичной мощности.

15. Получить решение уравнения элементарной теории диффузии в бесконечной однородной среде для линейного бесконечного источника, испускающего q нейтронов с единицы длины в единицу времени.

16. Определить токовое числовое интегральное альbedo тепловых нейтронов для полубесконечной однородной среды и плоского источника.

17. Получить решение уравнения возраста для плоского моноэнергетического источника единичной поверхностной мощности в бесконечной однородной среде.

18. Определить распределение тепловых нейтронов в бесконечной однородной среде от плоского моноэнергетического источника быстрых нейтронов единичной поверхностной мощности, используя теорию возраста и элементарную теорию диффузии.

19. В приближении однократного рассеяния определить вклад, в токовое дифференциальное энергетическое альbedo точечного моноэнергетического источника фотонов, создаваемый аннигиляционным излучением. Фотоны источника падают на полубесконечную среду под углом θ_0 .

20. Источник гамма-излучения представляет собой радионуклид ^{56}Mn . Разыграйте случайное значение энергии вылетающей частицы, считая, что генератор случайных чисел выдал число 0,377.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области теории переноса нейтронов	Отлично
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно	Хорошо

продемонстрировано взаимовлияние различных факторов, определяющих состояние активной зоны на кинетику реактора, или содержатся отдельные пробелы в определении физических причин, определяющих кинетику реактора.	
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания факторов, влияющих на кинетику реактора, или имеет не полное представление о соотношении различных эффектов реактивности.	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в оценке характеристик нейтронов.	Неудовлетворительно

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Вопросы к экзамену:

1. Свойства свободного нейтрона. Основные ядерные реакции – источники нейтронов. Основные процессы взаимодействия нейтронов с ядрами среды
2. Эффективные нейтронные сечения. Длина свободного пробега нейтрона в среде. Описание нейтронного поля в среде.
3. Теория диффузии моноэнергетических нейтронов. Балансное уравнение для скоростей процессов. Закон Фика.
4. Уравнение диффузии моноэнергетических нейтронов. Условия однозначного выбора решения уравнения диффузии моноэнергетических нейтронов в физических задачах.
5. Характерные задачи стационарной теории диффузии моноэнергетических нейтронов. Диффузионные функции влияния (функции Грина). Принцип суперпозиции источников.
6. Альбеда. Постановка граничных условий с помощью альбеда.
7. Решение уравнения диффузии в конечной среде на примере математического обоснования экспоненциального эксперимента.
8. Микроскопическое эффективное сечение упругого рассеяния нейтронов. Кинематика замедления.
9. Законы упругого рассеяния.
10. Летаргия. Уравнение замедления нейтронов в бесконечной неразмножающей гомогенной среде. Плотность замедления нейтронов.
11. Замедление нейтронов в непоглощающей среде на водороде
12. Замедление нейтронов в непоглощающей среде на ядрах с атомной массой больше единицы.
13. Замедление в непоглощающей среде, состоящей из смеси нуклидов (асимптотическая область энергии).
14. Микроскопическое эффективное сечение поглощения. Понятие эффекта Доплера.
15. Замедление на водороде при наличии поглощения. Замедление на ядрах с атомной массой больше единицы с учетом поглощения.
16. Поглощение нейтронов на группе узких изолированных резонансов. Эффективный и истинный резонансные интегралы.
17. Уравнение замедления в диффузионном приближении
18. Модель непрерывного замедления (диффузионно-возрастное приближение)
19. Уравнение возраста. Возраст нейтронов и время замедления.
20. Условия однозначного выбора решения уравнения возраста в физических задачах. Решение уравнения возраста.
21. Пространственное распределение замедляющихся нейтронов в среде из водорода.
22. Особенности замедления быстрых нейтронов
23. Групповое диффузионное приближение
24. Уравнение замедления в области термализации. Спектр Максвелла. Температура нейтронного газа. Эффект диффузионного охлаждения.

25. Диффузия тепловых нейтронов. Расчет средних сечений в тепловой области.
26. Газокинетическая модель переноса нейтронов в неразмножающих средах. Уравнение Больцмана. Условия однозначного выбора решения уравнения Больцмана в физических задачах.
27. Интегральная форма уравнения переноса нейтронов. Интегральное уравнение Пайерлса.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области кинетики ядерных реакторов	Отлично
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано взаимовлияние различных факторов, определяющих состояние активной зоны на кинетику реактора, или содержатся отдельные пробелы в определении физических причин, определяющих кинетику реактора.	Хорошо
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания факторов, влияющих на кинетику реактора, или имеет не полное представление о соотношении различных эффектов реактивности.	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в оценке эффектов реактивности.	Неудовлетворительно

Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики
_____ Титова Л. В.

Направление подготовки:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Дисциплина: Б1.В.05 Теория переноса нейтронов

Вид контроля: Экзамен.

Контрольно-измерительный материал №1

1. Уравнение возраста. Возраст нейтронов и время замедления.
2. Диффузия тепловых нейтронов. Расчет средних сечений в тепловой области.

Преподаватель _____ . _____
подпись расшифровка подписи

21. Фонд оценочных средств, рекомендуемых к использования в ходе проверки остаточных знаний (оценке достижения результатов освоения дисциплины)"

Тестовые задания (с открытым ответом)

1. Основным эффектом, определяющим распространение гамма квантов в свинце при энергии <100 кэВ является
 - a. Комptonовское рассеяние
 - b. Упругое рассеяние
 - c. Фотопоглощение
 - d. Рождение пар
2. Замедление нейтронов до тепловых энергий может происходить за счет ... взаимодействия с ядрами
 - a. Упругого потенциального
 - b. Неупругого
 - c. Резонансного
 - d. Всех вышеперечисленных
3. Основным эффектом, определяющим распространение гамма квантов в воде при энергии >1 МэВ является
 - a. Комptonовское рассеяние
 - b. Упругое рассеяние
 - c. Фотопоглощение
 - d. Рождение пар
4. Упругое рассеяние нейтронов на ядрах вещества является в общем случае
 - a. Симметричным, не зависящим от атомной массы
 - b. Несимметричным, не зависящим от атомной массы
 - c. Симметричным, но зависящим от атомной массы
 - d. Несимметричным, зависящим от атомной массы

5. Какие эффекты определяют распространение легких заряженных частиц (электронов, позитронов и т.д.) в веществе?
 - a. Рассеяние в поле атомного ядра и электронов оболочки атома
 - b. Потери на возбуждение атомов среды.
 - c. Потери на ионизацию атомов среды.
 - d. Многократное кулоновское рассеяние и ионизационные потери.
6. Как зависит сечение фотопоглощения от атомного номера Z ?
 - a. Пропорционально Z .
 - b. Пропорционально $Z^{4,5}$.
 - c. Пропорционально Z^2 .
 - d. Пропорционально Z^3 .
7. Как связаны величины длины диффузии нейтронов L и среднего смещения нейтрона от точки рождения R ?
 - a. $L=R$
 - b. $L=0.5R$
 - c. $L^2=\frac{1}{6}R^2$
 - d. $L^2=\frac{1}{3}R^2$
8. Как связаны величины квадрата длины замедления (возраста) нейтронов t и среднего смещения нейтрона от точки рождения R ?
 - a. $t=R$
 - b. $t=\frac{1}{6}R^2$
 - c. $t=0.5R$
 - d. $t=\frac{1}{3}R^2$
9. Плотность тока нейтронов – это
 - a. Сумма числа нейтронов, проходящих через поверхность единичной площади, в двух противоположных направлениях, перпендикулярных поверхности, за единицу времени
 - b. Разность числа нейтронов, проходящих через поверхность единичной площади, в двух противоположных направлениях за единицу времени
 - c. Сумма числа нейтронов, проходящих через поверхность единичной площади, в двух противоположных направлениях за единицу времени
 - d. Разность числа нейтронов, проходящих через поверхность единичной площади, в двух противоположных направлениях, перпендикулярных поверхности, за единицу времени
10. Плотность потока частиц определяет
 - a. Количество частиц, проходящих через поверхность единичной площади за единицу времени.
 - b. Количество частиц, проходящих через поверхность единичной площади за единицу времени в определенном направлении.
 - c. Количество частиц, проходящих через поверхность единичной площади за единицу времени и имеющих определенную энергию.
 - d. Количество частиц, проходящих через поверхность единичной площади.
11. Какой формулой описываются средние потери энергии заряженной частицы на единице длины пути в веществе?
 - a. Формулой Резерфорда

- b. Формулой Комптона
 - c. Формулой Бете-Блоха
 - d. Формулой Мольера
12. Макроскопическое сечение взаимодействия частиц с веществом – это
- a. Полное сечение взаимодействия частицы с ядром
 - b. Сечение взаимодействия со всеми ядрами в веществе.
 - c. Среднее количество взаимодействий с атомными ядрами на единице длины пути в веществе.
 - d. Среднее количество взаимодействий с атомными ядрами за единицу времени.
13. Что называют пиком Брэгга при распространении тяжелых заряженных частиц в веществе?
- a. Форму угловой зависимости при многократном упругом рассеянии.
 - b. Форму угловой зависимости при многократном неупругом рассеянии.
 - c. Резкий рост радиационных потерь
 - d. Резкое возрастание ионизационных потерь в конце пробега частиц.
14. Что содержит наиболее полную информацию о стационарном поле излучения?
- a. Плотность потока частиц
 - b. Угловая зависимость плотности потока частиц
 - c. Энергетическая зависимость плотности потока частиц.
 - d. Энергетически-угловая плотность потока частиц
15. Почему средний угол отклонения от первоначального направления для тяжелых заряженных частиц много меньше, чем у легких, при одинаковых пробегах?
- a. Легкие заряженные частицы сильнее взаимодействуют с атомами.
 - b. Тяжелые заряженные частицы сильнее взаимодействуют с атомами.
 - c. Отклонение тяжелых заряженных частиц мало в силу законов сохранения импульса и энергии.
 - d. Отклонение легких заряженных частиц велико в силу большей вероятности ионизации.

Задания с закрытым ответом:

1. Направляющий вектор Ω обычно выражают в сферической системе координат. Считая эти координаты заданными, выразить Ω в декартовой системе и цилиндрической системах координат. Ответ $\Omega = \sin\theta \cos\varphi \cdot i + \sin\theta \sin\varphi \cdot j + \cos\theta \cdot k$.
2. Пусть в заданной точке пространства r угловая плотность потока частиц изотропна, т.е. описывается выражением $\phi(r, \Omega) = F(r) / 4\pi$. Определить: а) плотность потока в положительную полусферу направлений (вперед); б) проекцию угловой плотности тока на направление, задаваемое единичным вектором k ; в) интегральную плотность тока. Ответ а) $\Phi(r) = F(r)/2$; б) $(\phi, k) = F(r)/4\pi$; в) $J(r) = F(r)$.
3. Найти угловую плотность потока частиц в произвольной точке над плоским изотропным источником, испускающим ν част./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Ответ: $\nu/(4\pi r^2)$, $\mu > 0$; $\mu < 0$
4. Изотропный поверхностный источник, испускающий ν част./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, равномерно покрывает поверхность полусферы радиусом R . Предполагая отсутствие поглощения внутри сферы, найти плотности потока и тока частиц в центре сферы. Ответ $\phi = \nu/2$; $J = \nu/4$.
5. Точечный изотропный источник γ -излучения, испускающий $3,7 \cdot 10^{10}$ частиц/с, находится в непоглощающей и нерассеивающей среде на расстоянии 100 см от облучаемого образца из алюминия объемом 0,1 см^3 . Определить сечение некогерентного рассеяния фотонов на электронах, если в единицу времени в образце рассеивается $1,5 \cdot 10^4$ фотонов. Ответ $0,65 \cdot 10^{-24} \text{см}^2$.

6. Определить максимально возможную энергию фотонов после комптоновского рассеяния на угол $\theta = 180^\circ$. Ответ $E_{\max} = 0,255$ МэВ.
7. Рассчитать полное микроскопическое сечение взаимодействия гамма-излучения для этилового спирта C_2H_5OH , имеющего плотность $0,79$ г/см³, для энергии $0,08$ МэВ. Ответ $0,139$ см⁻¹
8. Вычислить степень анизотропии углового распределения фотонов при комптоновском рассеянии для начальных энергий, равных $0,01$; $0,1$ и $10,0$ МэВ, понимая под этим отношение вероятностей рассеяния на углы θ , равные 0° и 180° . Ответ $1,24$; $2,02$; $83,0$.
9. Найти связь между углами упругого рассеяния нейтронов на ядре водорода в лабораторной системе координат θ_s и в системе центра инерции θ_c . Ответ $\cos \theta_s = \cos \theta_c/2$.
10. Пусть нейтрон испытывает неупругое рассеяние на первом уровне возбуждения ^{56}Fe ($Q = -0,845$ МэВ). Определить: а) при какой минимальной начальной энергии возможно это рассеяние; б) при какой минимальной начальной энергии возможно рассеяние на углы θ_s , равные 45° и 90° . Ответ а) $0,860$ МэВ; б) $0,8602$ МэВ; $0,8603$ МэВ.
11. Покажите, что средние потери энергии при изотропном упругом рассеянии на ядре массой A равны $\Delta E = 2E_0 A / (A + 1)^2$
12. Получить решение уравнения элементарной теории диффузии в бесконечной однородной среде для точечного и плоского изотропных источников единичной мощности.
 Ответ $\varphi(r) = \frac{1}{4\pi B} \frac{\exp(-\frac{r}{L})}{r}$, $\varphi([z]) = \frac{1}{2\Sigma_0 L} \exp(-[z]/L)$.
13. В приближении элементарной теории диффузии найти критический размер шара из ^{235}U . Считать, что нейтроны, рождающиеся при делении, имеют одну энергию, которая не изменяется в процессе диффузии. При расчетах принять $\Sigma_a = 0,357$ см⁻¹; $\Sigma_s = 0,393$ см⁻¹; $\Sigma_f = 0,193$ см⁻¹; $\nu = 2,46$. Ответ $6,52$ см;
14. Получить решение уравнения возраста для плоского моноэнергетического источника единичной поверхностной мощности в бесконечной однородной среде. Ответ

$$q(z, \tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi\tau}} \exp\left(-\frac{z^2}{4\tau}\right)$$
15. Коллимированный пучок фотонов нормально падает на полубесконечную среду, в которой излучение испытывает изотропное рассеяние без изменения энергии. В приближении однократного рассеяния определить зависимость обратного выхода излучения от расстояния r до точки падения излучения на среду при условии, что $r \gg 1/\mu$. Ответ $f(r) \exp(-\Sigma r)$.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) открытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) закрытые задания (повышенный уровень сложности):

- 5 баллов – указан верный ответ;
- 2 балла – указан неверный ответ, но приведен верных ход решения;
- 0 баллов – указан неверный ответ.