

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 / Титова Л.В./
20.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.12 Теория переноса излучений**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.04.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

к.ф.м.н., доцент Долгополов Михаил Анатольевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025г.

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными закономерностями распространения заряженных частиц, фотонов и нейтронов в различных средах, изучение методов расчета характеристик взаимодействия, приобретение умений выполнять расчеты характеристик прохождения ионизирующих излучений в веществе.

Задачи учебной дисциплины:

- изучить фундаментальные понятия, базовые модели, принципы и математические методы теории переноса излучений, а также границы их применимости
- научиться выделять конкретное «физическое» содержание в прикладных задачах переноса излучений, проводить анализ полученных результатов, ставить и решать конкретные задачи переноса излучений
- овладеть методами расчета характеристик потоков частиц в веществе как аналитическими, так и численными, с приложениями к решению типовых задач по переносу излучений

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина входит в вариативную часть цикла Б1.В (Часть, формируемая участниками образовательных отношений).

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 к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом.	ПК-1.1	Знает основные модели процессов в области физики атомного ядра, конденсированного состояния вещества и взаимодействия излучений с веществом.	Знать: основы теории переноса излучений Уметь: использовать основные законы теории переноса излучений для составления математического описания объекта моделирования; Владеть: самостоятельно выполнять теоретические расчеты при решении научных и исследовательских задач с использованием современных методов; выбирать адекватные конкретной задаче методы описания и расчета характеристик взаимодействия излучений с веществом.
		ПК-1.2	Составляет математические модели ядернофизических процессов.	
		ПК-1.3	Осуществляет теоретическое моделирование ядерно-физических систем и процессов.	

ПК-4	Способен использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, конденсированного состояния	ПК-4.1	Знает фундаментальные понятия, базовые модели, принципы и математические методы теории переноса излучений, а также границы их применимости.	<p>Знать: основы теории переноса излучений</p> <p>Уметь: использовать основные законы теории переноса излучений для составления математического описания объекта моделирования;</p> <p>Владеть: самостоятельно выполнять теоретические расчеты при решении научных и исследовательских задач с использованием современных методов; выбирать адекватные</p>
		ПК-4.2	Выделяет	
	вещества, экологии в объеме, достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей		конкретное «физическое» содержание в прикладных задачах переноса излучений, проводить анализ полученных результатов, ставить и решать конкретные задачи переноса излучений.	конкретной задаче методы описания и расчета характеристик взаимодействия излучений с веществом.
		ПК-4.3	Знает основные закономерности процессов генерации, распространения нейтронов, а также взаимодействия нейтронов с атомными ядрами.	
		ПК-4.4	Рассчитывает характеристики генерации, распространения нейтронов, а также взаимодействия нейтронов с атомными ядрами.	
ПК-7	Способен оценивать риск и определять меры безопасности для ядерных установок и технологий,	ПКВ-7.4	Знает основы диффузии нейтронов, пространственного распределения замедляющихся нейтронов.	<p>Знать: основы теории переноса излучений</p> <p>Уметь: использовать основные законы теории переноса излучений для составления математического описания объекта моделирования;</p>

составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.	ПК-7.6	Владеет методами расчета нейтронных полей с целью уменьшения риска возникновения аварийных ситуаций.	Владеть: самостоятельно выполнять теоретические расчеты при решении научных и исследовательских задач с использованием современных методов; выбирать адекватные конкретной задаче методы описания и расчета характеристик взаимодействия излучений с веществом.
--	--------	--	---

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

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			1 семестр	2 семестр
Аудиторные занятия		84		
в том числе:	лекции	32	14	18
	практические	52	14	38
	лабораторные			
Самостоятельная работа		96	62	34
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации		Зачет		Зачет
Итого:		180	90	90

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Дифференциальные и интегральные характеристики излучений.	Активность радионуклида. Постоянная распада и период полураспада. Поточковые и токовые характеристики поля излучений и единицы их измерения. Понятие элементарной сферы. Флюенс частиц. Плотность тока частиц вдоль заданного направления. Дважды дифференциальные по углам и энергии сечения рассеяния. Макроскопическое сечение взаимодействия (линейный коэффициент ослабления), длина свободного пробега, слой половинного ослабления.	-

1	Дифференциальные и интегральные характеристики излучений.	4	7	13	24
2	Элементарные акты взаимодействия излучений с веществом.	4	7	13	24
3	Уравнение переноса.	4	7	14	25
4	Аналитические методы решения уравнения переноса.	5	7	14	26
5	Особенности описания переноса нейтронов.	5	8	14	27
6	Алгоритмы статистического моделирования переноса заряженных частиц.	5	8	14	27
7	Алгоритмы статистического моделирования переноса гамма излучения.	5	8	14	27
	Итого:	32	52	96	180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 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 (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников) а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Черняев А.П. Ионизирующие излучения : учебное пособие / А. П. Черняев; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), Физический факультет. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: КДУ, 2014. — 314 с.: ил. — Библиогр.: с. 311-313. — ISBN 9785-906226-65-5.
2	А.П. Черняев. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. М.: Физматлит, 2004.
3	Юрасова Т.И. Основы радиационной безопасности: Учебное пособие. Изд.: АТиСО, 2008 г., 156 стр.
4	Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения): учебник. Изд.: ФИЗМАЛИТ, 2004, 443 стр.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Кирсанова З.В. Радиоактивность: открытие, виды радиоактивности, основные закономерности и количественные характеристики: Учебное пособие. Изд.: Издательство МГОУ, 2006 г., С.42

6	Петров Ю.Ф., Рубин А.Б., Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения: Учебник для вузов. Изд.: ФИЗМАЛИТ, 2008 г., 184 стр.
7	Черняев А.П. Ионизирующие излучения : учебное пособие / А. П. Черняев; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), Физический факультет. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: КДУ, 2014. — 314 с.: ил. — Библиогр.: с. 311-313. — ISBN 978-5-906226-65-5.
8	Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения): учебник. Изд.: ФИЗМАЛИТ, 2004, 443 стр
9	Кирсанова З.В. Радиоактивность: открытие, виды радиоактивности, основные закономерности и количественные характеристики: Учебное пособие. Изд.: Издательство МГОУ, 2006 г., С.42

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

№ п/п	Ресурс
1.	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ.
2.	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

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 методам

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 семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации г. Воронеж, площадь Университетская, дом 1, ауд. 506П	Специализированная мебель, учебный стенд для изучения основ программирования цифровых процессоров, учебный стенд для изучения моделирования экспериментальных сигналов и их обработки в реальном масштабе времени с помощью микроконтроллеров, учебный стенд для моделирования цифровой обработки сигналов в измерительных системах физического эксперимента, учебный стенд для изучения автоматизации измерений с помощью ЭВМ и программно-управляемых модульных систем, учебный стенд для изучения цифровой регистрации событий, измерения амплитудных и временных распределений, интерфейсов передачи данных в ЭВМ, учебный стенд для изучения основ компьютерной томографии, учебный стенд для изучения много-параметрических и корреляционных измерений в ядерной физике на базе МК. РС IBM
г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 507П	Аудитория для самостоятельной работы. Специализированная мебель, компьютеры Pentium-II, III (10 шт.), объединенные в локальную сеть с возможностью подключения к сети «Интернет».

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.	Тема 1-7	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	Контрольная работа
2.	Тема 1-7	ПК-4	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.4	Контрольная работа
3	Тема 1-7	ПК-7	ПК-7.4 ПК-7.6	Контрольная работа
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

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:

Собеседование, контрольная работа

Перечень тем контрольной работы.

1. Основные элементарные процессы взаимодействия гамма-квантов с веществом.

2. Закономерности, определяющие перенос электронов и позитронов в веществе.
3. Основные процессы взаимодействия нейтронов с веществом и их закономерности. 4. Уравнение переноса в различных системах координат (декартовой, сферической, цилиндрической).
5. Кинетическое уравнение Больцмана и граничные условия.
6. Теория замедления. Уравнение для плотности столкновения и его решение.

Перечень тем, выносимых на собеседование.

1. Ионизационные и радиационные потери, формула Бете-Гайтлера.
2. Закон Фика. Функция влияния точечного источника.
3. Стадии протекания ядерных реакций с участием нейтронов.
4. Флуктуации ионизационных и радиационных потерь.
5. Уравнение возраста. Условие применимости возрастной теории.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<i>Незачтено</i>

20.2 Промежуточная аттестация Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

1. Активность радионуклида.
2. Постоянная распада и период полураспада.

3. Поточные и токовые характеристики поля излучений и единицы их измерения.
4. Понятие элементарной сферы.
5. Флюенс частиц.
6. Плотность тока частиц вдоль заданного направления.
7. Дважды дифференциальные по углам и энергии сечения рассеяния.
8. Макроскопическое сечение взаимодействия (линейный коэффициент ослабления), длина свободного пробега, слой половинного ослабления.
9. Взаимодействие электронов и других заряженных частиц с веществом.
10. Ионизационные и радиационные потери, формула Бете-Гайтлера.
11. Взаимодействие фотонов с веществом.
12. Фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электронно-позитронных пар. Взаимодействие нейтронов с веществом.
13. Классификация нейтронов по энергиям.
14. Стадии протекания ядерных реакций с участием нейтронов.
15. Кинематика рассеяния нейтронов.
16. Макроскопические сечения поглощения и деления.
17. Интегро-дифференциальная форма уравнения переноса (кинетическое уравнение Больцмана). Граничные условия.
18. Уравнение переноса для плоской, цилиндрической и сферической геометрии. Свойства уравнения переноса.
19. Интегральная форма уравнения переноса (уравнение Пайерлса).
20. Элементарная теория диффузии. $N P$ - разложение. Транспортное сечение и сечение поглощения.
21. Коэффициент и длина диффузии.
22. Закон Фика. Функция влияния точечного источника.
23. Сферический и цилиндрический поверхностные источники.
24. Пределы применимости диффузной теории.
25. Теория замедления. Уравнение для плотности столкновения и его решение.
26. Приближение непрерывного замедления. Летаргия, плотность замедления и возраст.
27. Теория возраста.
28. Уравнение возраста.
29. Условие применимости возрастной теории.

30. Метод последовательных столкновений.
31. Представление плотности полного потока частиц в методе последовательных столкновений.
32. Плотности потоков одно- и двукратно рассеянных частиц в односкоростном приближении.
33. Метод «укрупненных соударений».
34. Многократное кулоновское рассеяние.
35. Распределение Мольера и Гаудсмита-Саундерсона.
36. Флуктуации ионизационных и радиационных потерь.
37. Каскады частиц.
38. Особенности потерь энергии тяжелых заряженных частиц в веществе. Пик Брэгга
39. Фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электронно-позитронных пар.
40. Спектрально-угловые характеристики вторичных фотонов и электронов (позитронов).

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<i>Незачтено</i>

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

ПК-1

Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

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
 - e. Комptonовское рассеяние
 - f. Упругое рассеяние
 - g. Фотопоглощение
 - h. 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. Множественное 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. $L=0.5R$

$$\frac{1}{6} \text{ c. } \underline{L^2=R^2}$$

$$\frac{1}{3} \text{ d. } L^2=R^2$$

8. Как связаны величины квадрата длины замедления (возраста) нейтронов τ и среднего смещения нейтрона от точки рождения R ? а. $\tau=R$

b. $\tau=\frac{1}{6}R^2$

c. $\tau=0.5R$

d. $\tau=\frac{1}{3}R^2$

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 части 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.

ПК-3

Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях

ПК-4

Способен использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, конденсированного состояния вещества, экологии в объеме, достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1. Направляющий вектор Ω обычно выражают в сферической системе координат. Считая эти координаты заданными, выразить Ω в декартовой системе и цилиндрической системах координат. Ответ $\Omega = \sin\theta \cos\psi \cdot i + \sin\theta \sin\psi \cdot j + \cos\theta \cdot k$.
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) $(k, \Omega) = \cos\theta$; в) $J = \int \phi(r, \Omega) k d\Omega = F(r) k$.
3. Найти угловую плотность потока частиц в произвольной точке над плоским изотропным источником, испускающим v част./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Ответ: $v/(4\pi r^2), \mu > 0; 0, \mu < 0$
4. Изотропный поверхностный источник, испускающий v 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 $\phi = v/2$; $J = v/4$.
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 см³. 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 $\Delta E = 2E_0A/(A+1)^2$
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; $v = 2,46$. 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 $f(r) \exp(-\Sigma r)$.