

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 /Кадменский С. Г./
30.06.2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.13 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 №6 от 24.06.2021,
РП продлена на 2022-2023 учебный год, НМС физического факультета от 14.06.2022,
протокол №6.

8. Учебный год: 2021/2022

Семестр(ы): 1,2

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 ядерно-физических процессов.	
		ПК-1.3	Осуществляет теоретическое моделирование ядерно-физических систем и процессов.	
ПК-4	Способен использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и	ПК-4.1	Знает фундаментальные понятия, базовые модели, принципы и математические методы теории переноса	Знать: основы теории переноса излучений Уметь: использовать основные законы теории переноса излучений для составления математического описания объекта моделирования;

	частиц, ядерных реакторов, конденсированного состояния вещества, экологии в объеме, достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей		излучений, а также границы их применимости.	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-4.2	Выделяет конкретное «физическое» содержание в прикладных задачах переноса излучений, проводить анализ полученных результатов, ставить и решать конкретные задачи переноса излучений.	
		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, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.	ПКВ-7.4	Знает основы диффузии нейтронов, пространственного распределения замедляющихся нейтронов.	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-7.6	Владеет методами расчета нейтронных полей с целью уменьшения риска возникновения аварийных ситуаций.	

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

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
		По семестрам

		Всего	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.	-
1.2	Элементарные акты взаимодействия излучений с веществом.	Взаимодействие электронов и других заряженных частиц с веществом. Ионизационные и радиационные потери, формула Бете-Гайтлера. Взаимодействие фотонов с веществом. Фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электронно-позитронных пар. Взаимодействие нейтронов с веществом. Классификация нейтронов по энергиям. Стадии протекания ядерных реакций с участием нейтронов. Кинематика рассеяния нейтронов. Макроскопические сечения поглощения и деления.	-
1.3	Уравнение переноса.	Интегро-дифференциальная форма уравнения переноса (кинетическое уравнение Больцмана). Граничные условия. Уравнение переноса для плоской, цилиндрической и сферической геометрии. Свойства уравнения переноса. Интегральная форма уравнения переноса (уравнение Пайерлса).	-
1.4	Аналитические методы решения уравнения переноса.	Элементарная теория диффузии. N P - разложение. Транспортное сечение и сечение поглощения. Коэффициент и длина диффузии. Закон Фика. Функция влияния точечного источника. Сферический и цилиндрический поверхностные источники. Пределы применимости диффузной теории.	-
1.5	Особенности описания	Теория замедления. Уравнение для плотности	-

	переноса нейтронов.	столкновения и его решение. Приближение непрерывного замедления. Летаргия, плотность замедления и возраст. Теория возраста. Уравнение возраста. Условие применимости возрастной теории. Метод последовательных столкновений. Представление плотности полного потока частиц в методе последовательных столкновений. Плотности потоков одно- и двукратно рассеянных частиц в односкоростном приближении.	
1.6	Алгоритмы статистического моделирования переноса заряженных частиц.	Метод «укрупненных соударений». Многократное кулоновское рассеяние. Распределение Мольера и Гаудсмита-Саундерсона. Флуктуации ионизационных и радиационных потерь. Каскады частиц. Особенности потерь энергии тяжелых заряженных частиц в веществе. Пик Брэгга	-
1.7	Алгоритмы статистического моделирования переноса гамма излучения.	Взаимодействие фотонов с веществом. Фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электронно-позитронных пар. Спектрально-угловые характеристики вторичных фотонов и электронов (позитронов).	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
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 978-5-906226-65-5.
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:

<p>Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации г. Воронеж, площадь Университетская, дом 1, ауд. 506П</p>	<p>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 многопараметрических и корреляционных измерений в ядерной физике на базе МК. PC IBM</p>
<p>Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 40/5</p>	<p>Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses) Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО) (лицензия: https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/)</p>

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 двухкратно 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	<i>Базовый уровень</i>	

практических задач		
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.