

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
Ядерной физики

 / С.Г. Кадменский  
30.06.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.04.01 Основы дозиметрии в ядерной и медицинской физике**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

03.03.02 Физика

**2. Профиль подготовки/специализация:** Физика наноматериалов и новых медицинских технологий

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:** Гитлин Валерий Рафаилович, к.т.н., доцент

**7. Рекомендована:** НМС Физического факультета ВГУ протокол № 6 от 26.06.2020 г.

---

**8. Учебный год:** 2023-2024

**Семестр(ы):** 7

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Курс посвящен изучению физических основ дозиметрии, а также новым методикам расчета различных доз (коллективных, экспозиционных, поглощенных и т.д.). Основная задача курса - освоение методов расчета доз, защита от различных видов излучений.

### 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Основы дозиметрии в ядерной и медицинской физике» относится к дисциплинам по выбору вариативной части Б1. Предшествующей дисциплиной является дисциплина «Экспериментальные методы ядерной и медицинской физики»

### 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	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способность анализировать научно-техническую информацию физической направленности	Знать: современные методы дозиметрии. Уметь: оценить возможности методов и средств измерения характеристик.
ПК-4	способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Владеть: методом градуировок и проверок различных типов радиометров для контроля за различными типами радиоактивных источников.

### 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 3/108.

Форма промежуточной аттестации зачет с оценкой

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ 6	№ семестра	...
Аудиторные занятия				
в том числе:	лекции			
	практические			
	лабораторные			
Самостоятельная работа				
Форма промежуточной аттестации <i>зачет</i>				
Итого:				

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
		<b>1. Лекции</b>	

1.1	Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.	Ионизация. Описание пучка фотонов. Ослабление пучка фотонов. Характеристики процесса прохождения пучка фотонов через вещество. Взаимодействие фотонов с веществом. Относительный вклад различных типов взаимодействий. Качество пучка фотонов. Взаимодействие заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов. Сравнительные характеристики пучков излучения.	
1.2	Измерение ионизации в воздухе.	Введение. Измерение экспозиционной дозы воздушной камерой. Воздушная ионизационная камера. Наперстковая ионизационная камера. Наперстковые ионизационные камеры, используемые на практике. Электрометры. Специальные камеры. Сбор ионов. Влияние изменения полярности напряжения. Условия окружающей среды. Измерение экспозиционной дозы.	
1.3	Измерение поглощенной дозы.	Поглощенная доза. Соотношение между кермой, экспозиционной и поглощенной дозой. Расчет поглощенной дозы по экспозиционной дозе. Теория полости Брэга-Грея. Калибровка мегавольтных пучков. Переход от поглощенной дозы в одной среде к дозе в другой. Экспозиционная доза от радионуклидных источников. Определение поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии.	
1.4	Методы и аппаратура для относительной и контрольной дозиметрии.	Калориметрия. Химическая дозиметрия. Гель – дозиметрия. Твердотельная дозиметрия. Фотоплёночная дозиметрия. Сцинтилляционные дозиметры. Детекторные массивы. Фантомы. Анализатор дозного поля. In vivo дозиметрия. Дополнительное оборудование.	
1.5	Расчётные методы определения дозы	Процентная глубинная доза. Отношение ткань – воздух. Отношение рассеяние – воздух. Методы расчёта дозы для фотонов высоких энергий. Отношение ОТФ и ОТМ. Формализм ESTRO. Практическое применение. Другие практические методы расчёта распределения глубинных доз. Вывод некоторых величин.	
1.6	Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.	Ионизация. Описание пучка фотонов. Ослабление пучка фотонов. Характеристики процесса прохождения пучка фотонов через вещество. Взаимодействие фотонов с веществом. Относительный вклад различных типов взаимодействий. Качество пучка фотонов. Взаимодействие заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов. Сравнительные характеристики пучков излучения.	
1.7	Измерение ионизации в воздухе.	Введение. Измерение экспозиционной дозы воздушной камерой. Воздушная ионизационная камера. Наперстковая ионизационная камера. Наперстковые ионизационные камеры, используемые на практике. Электрометры. Специальные камеры. Сбор ионов. Влияние изменения полярности напряжения. Условия окружающей среды. Измерение экспозиционной дозы.	
1.8	Измерение поглощенной дозы.	Поглощенная доза. Соотношение между кермой, экспозиционной и поглощенной дозой. Расчет поглощенной дозы по экспозиционной дозе. Теория полости Брэга-Грея. Калибровка мегавольтных пучков. Переход от поглощенной дозы в одной среде	

		к дозе в другой. Экспозиционная доза от радионуклидных источников. Определение поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии.	
--	--	--	--

### 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	Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.			4	4	4	12
2	Измерение ионизации в воздухе.			4	4	4	12
3	Измерение поглощенной дозы.			4	5	4	13
4	Методы и аппаратура для относительной и контрольной дозиметрии.			4	5	4	13
5	Расчётные методы определения дозы			4	5	5	14
6	Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.			4	5	5	14
7	Измерение ионизации в воздухе.			5	5	5	15
8	Измерение поглощенной дозы.			5	5	5	15
	Итого:			34	38	36	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

### 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	<i>Болоздыня А. И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения: учеб. пособ./ А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 204 с. (10 экз.)</i>
2	<i>Тарасенко Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения/ Ю.Н.Тарасенко. – Издательство «Техносфера», 2013. – 264 с.// Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система. – URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/73525#book_name">https://e.lanbook.com/book/73525#book_name</a></i>
3	<i>Званцев А.А.Сборник задач по теории переноса, дозиметрии и защите от ионизирующих излучений: учебное пособие для вузов/ Званцев А.А., Климанов В.А., Ксенофонтов А.И., Могиленец Н.Н.– Издательство: Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт», 2011.– 196 с .// Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система.– URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/75915#book_name">https://e.lanbook.com/book/75915#book_name</a></i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	<i>Алиев, Р. А.. Радиоактивность: [учеб пособие для студ. вузов, обуч. по направлению ВПО 020100 (магистр химии) и специальности ВПО 020201 - "Фундамент. и приклад. химия"] / Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. — Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2013.— 301 с.</i>
5	<i>Т.Г. Ратнер, Н.А. Лютова. Клиническая дозиметрия. Теоретические основы и практическое применение</i>

6	<i>Радиоактивность: учебное пособие по специальностям 010400, 014100, 013800, 010100, 510400 / Воронеж. гос. ун-т, Каф. ядер. физики; Сост.: М.Н. Левин, В.Р. Гитлин. — Воронеж, 2003.— 20 с. (5 экз.)</i>
7	<i>Иванов И.В. Курс дозиметрии / В.И. Иванов. — М.: Энергоатомиздат, 1988.</i>
8	<i>Моисеев А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А.А. Моисеев, В.И. Иванов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1974.</i>
9	<i>Моисеев А.А. Краткий справочник по радиационной защите и дозиметрии / А.А. Моисеев, В.И. Иванов. — М.: Атомиздат, 1964.</i>
10	<i>Дозовые зависимости нестохастических эффектов, основные концепции и величины, используемые МКРЗ / пер. с англ; под ред. А.А. Моисеева. — М.: Энергоатомиздат, 1987.</i>
11	<i>Генералов В.В. Дозиметрия в радиационной технологии / В.В. Генералов, М.Н. Гурский. — М.: Изд. - во стандартов, 1981.</i>
12	<i>Ткаченко В.В. Конспект лекций по курсу дозиметрии и защиты от излучений. / В.В. Ткаченко, Обнинск: ИАТЭ, 1990, — 79 с.</i>
13	<i>Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений/ Б.П. Голубев, М.: Атомиздат, 1976. — 502 с..</i>
14	<i>Вальтер А.К. Ядерная физика/ А.К. Вальтер. — Харьков: Вища школа, 1978. — 422.</i>
15	<i>Иванов В.И. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений/ В.И. Иванов, В.И. Машкова. — М.: Атомиздат, 1980</i>
16	<i>Гришмановский В.И. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений Методическое руководство. Индивидуальный контроль Радиометрия проб/ В.И.Гришмановский, И.Б.Кеирим-Маркус, Ф.К.М. Левочкин. — М.: Энергоиздат, 1981.— 203 с.</i>
17	<i>Голубев Б. П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: учебник для студ. вузов/ Б. П. Голубев, Столярова Е.Л. — М.: Атомиздат, 1976.— 502 с.</i>

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

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www/lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://window.edu.ru/window/library?p_rid=44952">http://window.edu.ru/window/library?p_rid=44952</a>
3.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

**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
20	<i>Тарасенко, Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения / Ю.Н. Тарасенко. - Москва: Техносфера, 2013. - 264 с. - ISBN 978-5-94836-349-3; то же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=233732">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=233732</a> (19.01.2018).</i>
21	<i>Система дозиметрических величин: учебное пособие для вузов / сост.: В.Р. Гитлин, Ю.В. Иванков, С.Г. Кадменский, Д.Е. Любашевский, А.Н. Алейников. — Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017.— 81 с.</i>

**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 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](http://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:

Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательной программы в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: ноутбук, мультимедиа-проектор, экран Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.) Установка спектрометрическая МКС-01.А "Мультирад" в составе: альфа-спектрометрический тракт - А.С." ПО "Прогресс" Учебный лабораторный стенд "Экспериментальное измерение периода полураспада долгоживущего изотопа" Учебный лабораторный стенд "Изучение взаимодействия заряженных частиц с веществом." Учебный лабораторный стенд "Исследование газоразрядного счётчика"	г. Воронеж, Университетская пл., 1, ауд. 437  г. Воронеж, Университетская пл., 1, ауд. 313а  г. Воронеж, Университетская пл., 1, ауд.32

### 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)	Оценочные средства
1.	П. 1.1 – 1.8	ПК-1 ПК-4	Вопросы КИМ
2.			
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой			КИМ

### 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 заданий

#### Примеры контрольных задач

1. Тонкий пучок фотонов с энергией  $E=5$  МэВ нормально падает на алюминиевую пластинку толщиной  $d=2$  см; флюенс фотонов  $10^7$   $1/\text{см}^2$ . В приближении однократного взаимодействия рассчитать величины энергий, переданных веществу при фотоэффекте, комптоновском рассеянии и эффекте образования пар.
2. На каком элементе биологической ткани рассеяние нейтронов даёт максимальный вклад в поглощённую дозу (показать долю потерь для каждого элемента ткани). Состав мягкой биологической ткани  $(\text{C}_5\text{H}_{40}\text{O}_{18}\text{N})_x$ . Считать основным взаимодействием упругое рассеяние. Энергия нейтронов 100 кэВ, 1 МэВ, 10 МэВ и значения соответствующих сечений упругого рассеяния (в барнах):  $\sigma_c = 4,40; 2,40; 0,65$ ,  $\sigma_n = 12,8; 4,10; 0,92$ ,  $\sigma_o = 3,70; 8,15; 0,75$ ,  $\sigma_N = 4,44; 2,31; 0,9$ .
3. Величина измеренного тока плоскопараллельной воздушнонаполненной ионизационной камеры в стационарном режиме облучения фотонами равнялась  $i = 0,5$  мкА; толщина медной стенки камеры, на которую нормально падают фотоны, имеет толщину, равную максимальному пробегу наиболее высокоэнергетичных вторичных электронов; объём камеры  $V = 12$  см<sup>3</sup>; среднее отношение массовых тормозных способностей  $S_{\text{ст}}/S_{\text{э}} = 0,76$ . Рассчитать мощность дозы в стенке камеры.
4. Оценить поглощенную энергию (МэВ) и дозу (Гр) в тонкой алюминиевой фольге толщиной  $d = 1$  мм при облучении ее пучком моноэнергетических электронов с энергией  $E = 10$  МэВ; падение пучка – нормальное, флюенс составлял величину  $\Phi = 2,0 \cdot 10^{10}$   $1/\text{см}^2$ . Приближения оценки: а) величину  $(dE/dx)_{\text{ион}}$  считать постоянной в пределах фольги; б) электроны рассеиваются на малые углы, т.е. траектории близки к прямолинейным; в) пренебрегается утечкой и фольги  $\delta$ -электронов Площадь фольги  $1\text{см}^2$ .
5. Оценить величину недельной дозы в легких человека от вдыхаемого радона и дочерних продуктов распада (предполагается, что все дочерние продукты остаются в легких и учитывается поглощенная доза от всех  $\alpha$ -частиц); масса легких  $m_l = 1000$  г, средний объём легких  $V_l = 2750$  см<sup>3</sup>. Сумма энергий всех  $\alpha$ -частиц  $\Sigma\alpha = 19,6$  МэВ, облучение равномерное в течение недели. Удельная активность радона в воздухе  $q = 0,4$  Бк/л. Характеристики  $\alpha$ -излучателей при распаде радона:  $^{222}\text{Rn} \longrightarrow E\alpha = 5,487$  МэВ  $\longrightarrow T_{1/2} = 3,82$  дня;  $\text{RaA} \longrightarrow E\alpha = 5,998$  МэВ  $\longrightarrow T_{1/2} = 3,05$  мин;  $\text{RaC}' \longrightarrow E\alpha = 7,68$  МэВ  $\longrightarrow T_{1/2} = 2,76 \cdot 10^{-6}$  мин.

Описание технологии проведения

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять знания на практике.

5) владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное глубокое знание основного и дополнительного учебно-программного материала на уровне количественной характеристики, владение основными понятиями дисциплины.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Полное знание учебно-программного материала на уровне качественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Знание основного программного материала на основе феноменологической характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Поверхностное знание основного учебно-программного материала, принципиальные ошибки в ответах	–	<i>Неудовлетворительно</i>

### Перечень вопросов к экзамену:

Итоговая аттестация - экзамен

Вопросы к экзамену

1. Основные понятия поля ионизирующего излучения. Скалярные, дифференциальные и векторные характеристики поля излучения.
2. Токовые и потоковые величины в рассеивающей и поглощающей среде.
3. Поглощенная энергия излучения. Линейная передача энергии. Поглощенная доза. Экспозиционная доза. Коэффициент качества. Эквивалентная доза. Коллективная доза.
4. Преобразование энергии фотонного излучения в веществе. Коэффициент передачи энергии излучения.
5. Эффективный атомный номер вещества. Средняя энергия ионообразования.
6. Соотношение Брэга-Грея.
7. Принцип работы ионизационной камеры.
8. Закономерности ионизационных камер при непрерывном облучении. Эффективность собирания ионов. Формула Боуга. Модифицированная формула Боуга.
9. Закономерности ионизационных камер при импульсном облучении.
10. Газоразрядные счетчики.
11. Полостные ионизационные камеры.
12. Особенности полупроводниковых детекторов. Носители электрических зарядов в беспримесном проводнике.
13. Примесные проводники. P-n переход. Вольтамперная характеристика полупроводникового детектора с p-n переходом.
14. Дозиметрические характеристики полупроводниковых детекторов.

15. Сцинтилляционный метод дозиметрии фотонного излучения. Принцип метода. Дозиметрические характеристики сцинтилляторов.
16. Люминесцентный метод дозиметрии. Принцип метода.
17. Фотографический и химический методы дозиметрии.
18. Тепловой метод дозиметрии. Принцип метода.
19. Дозиметрия нейтронов. Преобразование энергии нейтронов в веществе
20. . Формирование дозы нейтронов в живой ткани. Энергетическая зависимость тканевой дозы.
21. Применение различных методов дозиметрии для нейтронов.
22. Дозиметрия потоков заряженных частиц. Расчетные методы дозиметрии бета-излучения. Экспериментальные методы бета-дозиметрии.
23. Дозиметрия ускоренных заряженных частиц.
24. Кинетика радионуклидов в организме. Формирование дозы излучения инкорпорированных радионуклидов. Кинетика формирования дозы.
25. Дозовая функция точечного инкорпорированного источника бета-частиц.

Описание технологии проведения

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе, текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: *устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа, доклады); письменных работ (практико-ориентированных заданий.);*

Критерии оценивания приведены выше.

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются количественные шкалы оценок (*нужное выбрать*). Критерии оценивания приведены выше.