

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор
МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ
О. И. Родькин

24 мая 2025

Регистрационный № УД-1696-25/уч.

ФИЗИКА ЯДРА И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0533-03 Медицинская физика

2025 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05-0533-03-2023 от 01.09.2023 и учебного плана учреждения высшего образования для специальности «Медицинская физика» Рег.№158-23/уч. от 07.04.2023

СОСТАВИТЕЛИ:

А.И. Киевицкая, профессор кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент;

Е.М. Хаджинов, доцент кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, кандидат технических наук, доцент;

Т.В. Дашкевич, старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета;

А.Л. Лобарев, преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Д.В. Шелковый, заведующий центром «Физика элементарных частиц» Института физики НАН Беларуси, кандидат физико-математических наук, доцент.

Е.В. Емельяненко, инженер изотопной лаборатории ПЭТ/КТ ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 12.05.2025);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 8 от 24.05.2025).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Физика ядра и ионизирующего излучения» занимает центральное место в учебном плане специальности «Медицинская физика».

Она открывает цикл дисциплин, в которых изучаются ядерная физика и технологии, взаимодействие ионизирующего излучения с веществом и методы измерения его характеристик, воздействие ионизирующего излучения на биологические объекты и человека, защиту от ионизирующего излучения. В ней даются теоретические основы профессиональных знаний, необходимые будущим специалистам по медицинской физике для изучения таких дисциплин, как «Измерение характеристик ионизирующего излучения», «Дозиметрия», «Защита от ионизирующего излучения» и других специальных дисциплин.

Традиционные подходы к изложению ядерной физики включают в себя основы теории взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, которые вводятся в дисциплину для того, чтобы дать теоретические основы некоторых экспериментальных методов ядерной физики, сводящихся, в основном, к методам регистрации ионизирующего излучения.

В данной программе также затрагивается деление ядер нейтронами и основы физики ядерных реакторов. Роль данного раздела в дисциплине состоит в том, чтобы у учащихся сформировалась единое представление о ядерных реакциях в целом, и реакциях деления в частности. Рассматриваются особенности взаимодействия нейтронов, как и других видов ионизирующего излучения, различных энергий с веществом.

Следует отметить, что физика ионизирующего излучения имеет предмет, не полностью лежащий в области ядерной физики и физики элементарных частиц.

Например, вопросы, связанные с генерацией рентгеновского излучения, несомненно, относятся к физике ионизирующего излучения, но не входят в предмет собственно ядерной физики. Эти вопросы только частично относятся и к атомной физике, так как генерация тормозного рентгеновского излучения не является задачей атомной физики как таковой. Вопросы, связанные с физическими основами процессов, происходящих в источниках ионизирующего излучения, выходят как за пределы собственно ядерной физики, так и за пределы физики взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, и поэтому традиционно не выделяются ни в одной из этих дисциплин, если они преподаются в отдельности.

В данной программе этим вопросам уделяется внимание, так как впоследствии источники ионизирующего излучения будут характеризоваться в других дисциплинах либо с точки зрения дозиметрии, либо с точки зрения радиационной защиты, но не с точки зрения физических основ их происхождения и функционирования.

Поэтому все эти междисциплинарные вопросы естественно объединить в одной дисциплине под названием «Физика ядра и ионизирующего излучения», выделив его из традиционного курса физики.

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов актуальные представления об основных концепциях в области ядерной физики.

При преподавании дисциплины должны быть решены следующие **задачи**:

- изложить основные представления о фундаментальной структуре материи и на их основе дать современное понимание строения ядра и взаимодействий, которые определяют поведение ядер в ядерных реакциях и превращениях, при взаимодействии ядер с элементарными частицами, при взаимодействии ионизирующего излучения с веществом;
- ознакомить обучаемых с основными и простейшими ядерными моделями, и их применением к объяснению свойств ядер;
- дать основные представления об ионизирующем излучении и его характеристиках;
- систематически изложить важнейшие результаты теории взаимодействия ионизирующего излучения с веществом применительно в области низких и средних энергий;
- способствовать развитию научного мировоззрения;
- подготовить студентов к изучению других специальных дисциплин.

В ходе усвоения дисциплины студент должен овладеть следующими **компетенциями:**

- решать на основе законов ядерной физики задачи радиоактивного распада ядер, рассчитывать Q-фактор ядерных реакций и превращений, энергию связи ядер для решения профессиональных задач (БПК-19);
- владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации (УК-1).

В результате усвоения дисциплины студент должен:

знать:

- классификацию фундаментальных частиц и взаимодействий;
- строение ядра;
- классификацию ядерных реакций и основных механизмов их протекания;
- виды радиоактивности и способы ее описания,
- виды ионизирующего излучения;
- классификацию источников ионизирующего излучения;
- основные механизмы взаимодействия фотонного ионизирующего излучения с веществом;
- основные особенности взаимодействия нейтронов с веществом;
- основные особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом;
- характеристики ионизирующего излучения;
- роль законов сохранения в физике высоких энергий и элементарных частиц;
- основные представления о строении и источниках энергии звезд, происхождении химических элементов и космических лучей, эволюции Вселенной.

уметь:

- вычислять энергию реакции и энергию связи ядра;
- решать задачи по расчету импульсов и энергий частиц в ядерных реакциях и реакциях с участием элементарных частиц;
- использовать закон радиоактивного превращения для решения типовых задач;
- решать типовые задачи взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

владеть:

- навыками решения задач по расчету импульсов и энергий частиц в ядерных реакциях и реакциях с участием элементарных частиц;
- практикой использования физических принципов, на которых основано производство ионизирующего излучения.

Для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине следует использовать информационные технологии: разместить в свободном доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим и лабораторным занятиям, список рекомендуемой литературы, задания для самоконтроля, электронные пособия и учебники и др.).

Учебная программа по учебной дисциплине «Физика ядра и ионизирующего излучения» рассчитана на 190 академических часов, из них 106 аудиторных часов (лекции – 54 часа; практические занятия – 36 часов; лабораторные занятия – 16 часов).

Контроль знаний предполагает проведение проверочных работ, сдачу зачетов по практическим занятиям. Проводится управляемая самостоятельная работа студентов. На практических занятиях следует обратить внимание на рассмотрение задач с примерами из физики реакторов и защиты от ионизирующего излучения. На лабораторных работах предполагается сдача отчетов и защита лабораторных работ.

Форма промежуточной аттестации – экзамен в 5-ом семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Роль ядерной физики в современном мире

История развития ядерной физики, основные события, хронология. Вклад в сегодняшний мир.

Тема 2. Основные свойства элементарных частиц

Основные виды взаимодействия. Сравнение масштабов сил различных видов взаимодействий. Элементарные и фундаментальные частицы. Поколения элементарных частиц. Спин, масса, заряд элементарных частиц. Свойства элементарных частиц – момент импульса и орбитальный момент. Античастицы.

Тема 3. Взаимодействия излучения с веществом

Механизмы взаимодействия первичной заряженной частицы с веществом. Основные особенности взаимодействия тяжелых и легких заряженных частиц с веществом. Основные физические характеристики взаимодействия заряженных частиц с веществом: потери энергии (полная потеря энергии) и линейная передача энергии (ЛПЭ). Пробег заряженных частиц в веществе и его виды. Флуктуации пробега. Кривая Брэгга.

Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Радиационные потери энергии. Тормозное излучение.

Основные реакции взаимодействия фотонного ионизирующего излучения с веществом. Фотоэффект. Комптон-эффект. Рассеяние гамма-квантов на свободных электронах (томсоновское рассеяние). Рассеяние на атомах (рэлеевское рассеяние). Образование электрон-позитронных пар. Ядерный фотоэффект. Фоторасщепление ядер.

Тема 4. Ядерные модели. Свойства атомных ядер

Ядерные модели – капельная, оболочечная, кластерная. Размеры и форма ядер. Статические свойства атомных ядер. Связь массы и энергии. Дефект масс. Образование атомных ядер. Удельная энергия связи. Формула Вайцзеккера.

Тема 5. Радиоактивность

Виды ядерных превращений. Явление радиоактивности. Теория альфа-распада. Теория бета-превращений. Радиоактивные семейства.

Электромагнитное излучение ядер. Внутренняя конверсия. Парная конверсия. Эффект Мессбауэра. Спин-орбитальное взаимодействие. Расщепление спектральных линий в магнитном поле. Опыт Зеемана. Ядерный магнитный резонанс. Опыт Штерна-Герлаха. Опыт Раби. ЯМР-томография.

Тема 6. Медицинские радионуклиды

Ядерная медицина. Радионуклиды в диагностике и терапии. Принцип действия радионуклидной терапии. Производство радиофармпрепаратов. Сцинтиграфия и эмиссионная компьютерная томография.

Тема 7. Механизмы ядерных реакций

Рассеяние частиц на ядрах. Механизмы ядерных реакций. Реакции через составное ядро. Сечение реакции. Резонансные ядерные реакции.

Прямые ядерные реакции. Реакции для релятивистских частиц. Фотоядерные и электроядерные реакции. Мультипольный гигантский резонанс.

Тема 8. Ускорители

Ускорители заряженных частиц: линейные, циклические, коллайдеры.

Тема 9. Реакции под действием нейтронов. Деление ядер

Открытие нейтрона. Классификация нейтронов по энергиям и реакций с участием нейтронов. Реакции деления ядер нейтронами. Коэффициент размножения нейтронов. Мгновенные нейтроны. Запаздывающие нейтроны. Понятие о ядерных реакторах. Формула четырех сомножителей.

Тема 10. Развитие ядерных реакторов

Виды ядерных реакторов. История развития ядерных реакторов. Современные ядерные реакторы.

Перспективные ядерные реакторы. Подкритические сборки, управляемые ускорителями заряженных частиц. Токамак. Стеллатор. Мюонный катализ.

Тема 11. Ядерная астрофизика

Гипотеза Большого Взрыва. Источники энергии и эволюция звезд. Диаграмма Гершпрунга-Рассела. Взрывы сверхновых. Образование планет. Происхождение и распространенность химических элементов.

Тема 12. Ядерные взрывные устройства

Принципы работы и эволюция конструкции ядерных взрывных устройств.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
(для очной (дневной) формы получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1.	Роль ядерной физики в современном мире	4						1,5
2.	Основные свойства элементарных частиц	4						1,5
3.	Взаимодействия излучения с веществом	6	6		10			1,2,3,4,5
4.	Ядерные модели. Свойства атомных ядер	6	6					1,2,5
5.	Радиоактивность	8	10		6			1,2,3,4,5
6.	Медицинские радионуклиды	4						1,5
7.	Механизмы ядерных реакций	6	10					1,2,5
8.	Ускорители	2						1,5
9.	Реакции под действием нейтронов. Деление ядер	4	4					1,2,5
10.	Развитие ядерных реакторов	4						1,5
11.	Ядерная астрофизика	4						1,5
12.	Ядерные взрывные устройства	2						1,5
	ИТОГО	54	36		16			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Инновационные методы и подходы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме; а также методы развития критического мышления, формирующие навыки работы с информацией в процессе чтения и письма.

Рекомендуемая литература

1. Ишханов, Б. С. Частицы и атомные ядра / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин. – М. : ЛИБРОКОМ, 2017. – 584 с.
2. Иродов, И. Е. Задачи по квантовой физике : сборник / И. Е. Иродов. – 2-е изд., испр. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 216 с.
3. Черняев, А. П. Ионизирующие излучения : монография / А. П. Черняев. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : ИД КДУ, 2014. – 314 с.
4. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика / К. Н. Мухин. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2016. – Т. 1–3.
5. Едчик, И. А. Основы физики ядерных реакторов : монография / И. А. Едчик. – Минск : Бел. навука, 2019. – 211 с.
6. Ионизирующие излучения [Текст] : лаб. практикум / Э. А. Авданина, А. Р. Барткевич, М. Д. Дежурко [и др.] ; под ред. А. И. Тимошенко. - Минск : РИВШ, 2018. - 254 с.
7. Батурицкий, М. А. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом [Текст] : учеб. пособие / М. А. Батурицкий, И. Я. Дубовская. - Минск : РИВШ, 2010. - 220 с.
8. Иродов, И.Е. Задачи по квантовой физике / И.Е. Иродов. – М. : Изд-во Лаборатория знаний, 2020. – 220 с.
9. Киевицкая, А.И. Инновационные ядерные установки для решения проблем современной ядерной энергетики: монография / А.И. Киевицкая. - Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – 258 с. ISBN 978-985-880-352-0.
10. Киевицкая, А.И. Современная ядерная энергетика и инновационные ядерные установки: ечебное пособие / А. И. Киевицкая. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 92 с. [https:// elib.bsu.by/handle/123456789/289089](https://elib.bsu.by/handle/123456789/289089).

Дополнительная

- 11.Едчик, И. А. Основы физики ядерных реакторов [Текст] : монография / И. А. Едчик. – Минск : Бел. навука, 2019. – 211 с.

12. Ишханов, Б.С. Нуклеосинтез во Вселенной /Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А. – М.: Изд-во Московского университета, 1998. – 208 с.
13. Радиоактивные распады атомных ядер / Б. С. Ишханов [и др.]; под ред. Б. С. Ишханова. – М. : НИИЯФ МГУ, 2018. – 170 с.
14. Бекман, И. Н. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для бакалавриата и магистратуры / И. Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во Юрайт, 2017. – 493 с.
15. Капитонов, И. М. Введение в физику ядра и частиц / И. М. Капитонов. – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 384 с.
16. Экспериментальная ядерная физика /под ред. Э. Сегре. – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – Т. 1; 1955. – Т. 2; 1961. – Т. 3.
17. Резерфорд, Э. Рассеяние альфа и бета частиц веществом и строение атома. – Университет Манчестера, 1911 г. // Резерфорд Э. Избранные научные труды. Радиоактивность. / Сост. и ред. перевода Ю.М.Ципенюк, отв. ред. Г.Н.Флеров. – М.: Наука, 1971. – 206 с.
18. Формула Резерфорда [Электронный ресурс] / Википедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Формула_Резерфорда – Дата доступа: 01.06.2020.
19. Формула Резерфорда [Электронный ресурс] / Ядерная физика в интернете. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/001p.htm> – Дата доступа: 01.06.2020.
20. Сечение реакции [Электронный ресурс] / Ядерная физика в интернете. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/crosection/> – Дата доступа: 01.06.2020.
21. Радиоактивные семейства [Электронный ресурс] / Ядерная физика в интернете. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e135.htm> – Дата доступа: 01.06.2020.
22. Взаимодействие электронов с веществом [Электронный ресурс] / Ядерная физика в интернете. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm02.htm> – Дата доступа: 01.06.2020.

Формы контроля знаний

№ п / п	Форма
1.	Выборочный контроль на лекциях
2.	Проведение контрольных работ в группе
3.	Оформление отчетов по лабораторным работам
4.	Защита лабораторных работ
5.	Экзамен

Примерный перечень тем практических занятий

1. Запись уравнений ядерных реакций. Энергия реакции.
2. Энергия связи ядер.
3. Кинематика ядерных реакций в нерелятивистском приближении. Учет энергии реакции.
4. Сечение реакции. Упругое рассеяние нерелятивистских частиц.
5. Особенности кинематики ядерных реакций для релятивистских частиц. Реакции с участием фотонов.
6. Закон радиоактивного превращения. Активность.
7. Радиоактивные семейства. Переменное равновесие. Вековое равновесие.
8. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом.
9. Взаимодействие легких заряженных частиц с веществом.
10. Взаимодействие фотонного излучения с веществом.
11. Взаимодействие нейтронного излучения с веществом.

Примерный перечень тем лабораторных занятий

1. Определение уровня фонового излучения.
2. Статистические законы в ядерной физике.
3. Взаимодействие α -излучения с веществом. Определение энергии α -частицы. Метод поглощения.
4. Взаимодействие β -частиц с веществом. Определение пробега электронов β -распада методом поглощения.
5. Взаимодействие γ -квантов с веществом.

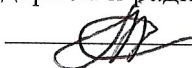
Наименования и виды методических средств

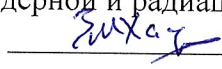
№ п / п	Наименование	Вид
1	Учебно-информационные материалы по теме лекций	Электронный файл - *.pdf
2	Презентации	Электронный файл - *.ppt

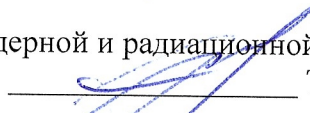
ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

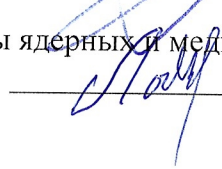
Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменении содержания учебной программы изучаемой дисциплины	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласование с другими дисциплинами специальности не требуется			

Учебную программу разработали:

Профессор кафедры ядерной и радиационной безопасности
 А.И. Киевицкая

Доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности
 Е.М. Хаджинов

Старший преподаватель кафедры ядерной и радиационной безопасности
 Т.В. Дашкевич

преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий
 А.В. Лобарев