

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



Директор МГЭИ им. А.Д. Сахарова
БГУ

О. И. Родькин

2024

Регистрационный № УД-1552-24/уч.

НЕЙТРОННАЯ ФИЗИКА

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальностей:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-100 01 01-2021 Ядерная и радиационная безопасность от 25.04.2022 и учебного плана учреждения образования для специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность Рег.№134-21/уч. от 25.06.2021

СОСТАВИТЕЛИ:

А.И. Киевицкая, профессор кафедры ядерной и радиационной безопасности учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ, доктор физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

И.Я. Дубовская, доцент кафедры ядерной физики физического факультета БГУ, кандидат физико-математических наук, доцент;

М.В. Коржик, заведующий лабораторией экспериментальной физики высоких энергий НИИЯП БГУ, доктор физико-математических наук

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной и радиационной безопасности «Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова» БГУ
(протокол № 10 от 20.05. 2024г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ
(протокол № 10 от 19.06. 2024г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Нейтронная физика» является дисциплиной специальности 1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность», входящая в состав модуля «Физика ядерных реакторов» наряду с такими дисциплинами как «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов», «Ядерные реакторы и атомные станции».

Она предназначена для более глубокого изучения студентами физических основ процессов, протекающих в ядерных реакторах и при взаимодействии нейтронов с веществом, необходимых для последующего усвоения ряда дисциплин специализаций.

Предмет нейтронной физики охватывает вопросы от строения и основных свойств нейтрона, его взаимодействия с элементарными частицами и ядрами при различных энергиях, до описания прохождения нейтронов через вещество, включая вещества, содержащие делящиеся материалы, способов генерации и наблюдения нейтронов.

Поэтому предмет нейтронной физики как таковой чрезвычайно обширен. В нем даются теоретические основы профессиональных знаний, необходимые будущим специалистам по ядерной и радиационной безопасности для изучения таких дисциплин, как «Физика, кинетика и динамика ядерных реакторов», «Ядерные реакторы и атомные станции», «Ядерный топливный цикл и обращение с радиоактивными отходами», «Действие ионизирующего излучения на человека и биоту», «Радиационный контроль и радиационная безопасность на АЭС», «Безопасность источников ионизирующего излучения», «Основы радиационной безопасности», «Радиационный мониторинг и автоматизированная система наблюдений».

Особенностью содержания данной программы дисциплины «Нейтронная физика» является и то, что нейтронная физика излагается с точки зрения ее последующего практического применения к задачам дозиметрии и радиационной защиты, что не мешает доступности восприятия излагаемого материала.

В программе дисциплины «Нейтронная физика» рассмотрены следующие вопросы: особенности кинематики реакций нейтронов с элементарными частицами и ядрами (с упором на диапазон энергий, характерных для реакторных нейтронов); элементы теории рассеяния, резонансного и нерезонансного поглощения нейтронов ядрами, реакций деления; основы теории переноса нейтронов в веществе; особенности прохождения нейтронов различных энергий через вещество; основные методы регистрации нейтронов различных энергий; основные физические механизмы генерации нейтронов в источниках нейтронов.

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов актуальные представления об основных разделах нейтронной физики, имеющих теоретическое и прикладное значение.

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

- сформировать систематические знания обучающихся в области нейтронной физики;
- закрепить базовые навыки решения расчетных задач по рассеянию нейтронов;

- ознакомить обучающихся с предметом нейтронной физики;
 - систематически изложить обучающимся основные сведения из нейтронной физики;
 - ознакомить обучающихся с основными подходами, применяемыми для описания взаимодействия нейтронов реакторных энергий с ядрами, основными методами их генерации и регистрации;
 - способствовать развитию научного мировоззрения;
 - подготовить студентов к изучению других специальных дисциплин.
- В результате усвоения дисциплины обучающийся должен

знать:

- классификацию нейтронов по энергиям применительно к задачам физики ядерных реакторов и взаимодействия реакторных нейтронов с веществом;
- метод амплитуды рассеяния (взаимодействия) в описании поведения нейтронов в ядерных реакциях;
- основные механизмы генерации нейтронов и способы их регистрации;

уметь:

- вычислять сечения реакций нерелятивистских нейтронов с ядрами в простейших случаях;
- определять основной физический механизм взаимодействия нейтронов некоторой энергии с ядрами в зависимости от значений сечений взаимодействия по различным каналам реакций;
- подбирать тип и характеристики источников нейтронов для решения конкретных практических задач;

владеть:

- основными методами решения задач кинематики нерелятивистских нейтронов.

В результате усвоения учебной дисциплины студент должен обладать следующими **компетенциями**:

- понимать физические принципы функционирования ядерных реакторов и базовые методы оценки их нейтронно-физических характеристик (БПК-16);
- быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности (УК-5);
- проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности (УК-6).

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 «Нейтронная физика» рассчитана на 108 учебных часов, из них 52 аудиторных часа, в том числе:

- лекции – 32 часа,
- практические занятия – 20 часов.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен в 7 семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Контроль знаний предполагает проведение проверочных работ, сдачу отчетов по практическим занятиям. Проводится управляемая самостоятельная работа студентов, включающая в себя выполнение индивидуальных реферативных заданий.

На практических занятиях следует обратить внимание на рассмотрение задач с примерами из физики реакторов, ядерной медицины и защиты от нейтронного излучения.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в нейтронную физику

Введение в предмет нейтронной физики. История открытия нейтрона. Свойства нейтрона. Реакции и превращения с участием нейтронов. Классификация нейтронов по энергии.

Тема 2. Ядерные реакции и превращения с участием нерелятивистских нейтронов

Законы сохранения и правила отбора в ядерных реакциях и превращениях с нейтронами. Кинематика ядерных реакций и превращений с участием нейтронов. Импульсные диаграммы для двухчастичных процессов рассеяния и ядерной реакции с нерелятивистскими нейтронами.

Микроскопическое сечение реакции. Закон ослабления узкого пучка. Макроскопическое сечение. Средняя длина свободного пробега. Эффективные микроскопические сечения взаимодействия нейтронов с ядрами и их распределения. Боровская теория ядерных реакций. Сечение ядерной реакции, идущей через составное ядро.

Тема 3. Получение и регистрация нейтронов различных энергий

Основные характеристики источников нейтронов; (α, n) источники, (d, n) источники, фотоядерные источники. Исследовательские ядерные реакторы. Нейтронные генераторы. Источники нейтронов на базе ускорителей. Пьезоэлектрические источники нейтронов. Нейтронные детекторы.

Тема 4. Основы теории переноса нейтронов в веществе

Уравнения переноса нейтронов в веществе. Особенности распространения быстрых нейтронов в веществе. Учет углового и энергетического распределения рассеянных нейтронов в системе центра масс и в лабораторной системе координат.

Тема 5. Взаимодействие нейтронов с веществом

Упругое рассеяние быстрых нейтронов. Резонансное рассеяние. Учет влияния теплового движения ядер. Доплеровская ширина уровня.

Отражение нейтронов. Альбедо. Поглощение нейтронов. Формула Брейта-Вигнера.

Активация ядер нейтронами. Упругое рассеяние медленных нейтронов. Магнитное взаимодействие нейтронов с атомами. Интерференция ядерного и магнитного рассеяния. Когерентное и некогерентное рассеяние. Элементы нейтронной оптики. Основные нейтронно-оптические явления. Показатель преломления среды для нейтронов. Поляризация нейтронов при прохождении через поляризованные мишени и при их отражении от поляризованных зеркал. Нейтронография. Нейтронная спектроскопия. Ультрахолодные нейтроны.

Тема 6. Нейтронный цикл в тепловом ядерном реакторе

Замедление нейтронов. Коэффициент замедления. Длина замедления. Возраст
онов. Термализация нейтронов. Радиационный захват. Резонансный интеграл.
ие ядер нейтронами. Коэффициент размножения. Цепная реакция деления.
ывающие нейтроны деления.

Длина диффузии и время диффузии. Коэффициент диффузии. Диффузионное
ижение уравнений переноса

Принцип работы критическихборок. Ядерный реактор. Подкритические
овки. Конструкция ядерного реактора. Виды ядерных реакторов.

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.	Введение в нейтронную физику	2						1,3
2.	Ядерные реакции и превращения с участием нерелятивистских нейтронов	6	4					1,2,3
3.	Получение и регистрация нейтронов различных энергий	6	2					1,2,3
4.	Основы теории переноса нейтронов в веществе	4						1,3
5.	Взаимодействие нейтронов с веществом	8	6					1,2,3
6.	Нейтронный цикл в тепловом ядерном реакторе	6	8					1,2,3
	ИТОГО	32	20					

2011 год

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

Основная

1. Ишханов, Б. С. Частицы и атомные ядра / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин. – М. : ЛИБРОКОМ, 2017. – 584 с.
2. Черняев, А.П. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом / А.П. Черняев. – М. : Изд-во Физматлит, 2004. – 152 с.
3. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика / К. Н. Мухин. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2016. – Т. 1–3.
4. Широков, Ю. М. Ядерная физика / Ю.М. Широков, Н. П. Юдин. – М. : Наука, 1980. – 728 с.
5. Едчик, И. А. Основы физики ядерных реакторов [Текст] : монография / И. А. Едчик. – Минск : Бел. навука, 2019. – 211 с.
6. Рубчenea, В.А. Нейтронная физика и ядерная энергетика [Текст] : учебное пособие / В. А. Рубчenea ; Санкт-Петербургский гос. ун-т. - Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУ, 2013. - 153, [1] с. : ил., табл.; 20 см. - (Физика).; ISBN 978-5-288-05429-7
7. Власов, Н.И. Нейтроны [Текст]. - 2-е изд., перераб. - Москва : Наука, 1971. - 551 с.
8. Гуревич И.Н. Нейтронная физика./ И.Н. Гуревич, В.Г. Протасов. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 406 с.
9. Экспериментальные методы нейтронных исследований. / Е.А. Крамер-Агеев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 270 с.
10. Ишханов, Б.С. Частицы и атомные ядра [Текст] : учебник по дисциплине "Физика атомного ядра" для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атомного ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Москва : Либроком, 2013. – 582 с.
11. Основы теории и методы расчета энергетических ядерных реакторов. Под ред. Г.А.Батя. М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

12. Батурицкий, М.А. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. / М.А. Батурицкий, И.Я. Дубовская. – Минск: РИВШ, 2010. – 103 с.
13. Крючков Э.Ф., Юрова Л.Н. Теория переноса нейтронов. / Э.Ф. Крючков, Л.Н. Юрова. Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. – 272 с.
14. Едчик, И. А. Основы физики ядерных реакторов [Текст] : монография / И. А. Едчик. – Минск : Бел. навука, 2019. – 211 с.
15. Киевицкая А. И., Современная атомная энергетика и инновационные ядерные установки /А. И. Киевицкая. Учебное пособие. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 92 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/289089>

Дополнительная

1. Ишханов, Б.С. Нуклеосинтез во Вселенной / Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А. – М. : Изд-во Московского университета, 1998. – 208 с.
2. Радиоактивные распады атомных ядер / Б. С. Ишханов [и др.]; под ред. Б. С. Ишханова. – М. : НИИЯФ МГУ, 2018. – 170 с.
3. 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.
4. Капитонов, И. М. Введение в физику ядра и частиц / И. М. Капитонов. – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 384 с.
5. Экспериментальная ядерная физика /под ред. Э. Сегре. – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – Т. 1; 1955. – Т. 2; 1961. – Т. 3.
6. Киевицкая А. И., Современная атомная энергетика и инновационные ядерные установки /А. И. Киевицкая. Учебное пособие. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 92 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/289089>
7. 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.
8. 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.
9. Киевицкая, А. И. Инновационные ядерные установки для решения проблем современной ядерной энергетике / Киевицкая А.И. Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – 258 с. Л. 12,84. ISBN 978-985-880-352-0
10. Белл Д., Глестон С. Теория ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1974.- 494с.

Формы контроля знаний

№	Форма
---	-------

п / п	
1.	Выборочный контроль на лекциях
2.	Проведение контрольных работ в группе
3.	Экзамен

Примерный перечень тем контрольных работ

1. Кинематика ядерных реакций и превращений с участием нейтронов.
2. Микроскопическое сечение реакции. Закон ослабления узкого пучка. Макроскопическое сечение. Средняя длина свободного пробега.
3. Замедление нейтронов. Термализация нейтронов.

Примерный перечень тем реферативных работ

1. Получение нейтронноизбыточных ядер.
2. Получение трансурановых элементов.
3. Производство радиоактивных ядер с помощью нейтронных пучков и использование их в медицине и технике.
4. Генераторы нейтронов.
5. ADS-технологии.
6. Радионуклидные источники нейтронов.
7. Пьезоэлектрические источники нейтронов.
8. Регистрация быстрых нейтронов.
9. Регистрация промежуточных нейтронов.
10. Регистрация тепловых нейтронов.
11. Спектрометрия быстрых нейтронов.
12. Спектрометрия тепловых и резонансных нейтронов.
13. Нейтронно-активационный анализ вещества.
14. Получение холодных и ультрахолодных нейтронов.
15. Изучение гравитационных явлений с помощью нейтронов.
16. Электромагнитные свойства нейтрона.
17. Нейтронная оптика.
18. Нейтронография.
19. Нейтронные звезды.
20. Получение и использование нейтронов высоких энергий.

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 изменениях содержания учебной программы изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласование с другими дисциплинами специальности не требуется			