

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ОДОБРЕНО
УМС ИЯФИТ Протокол №01/08/24-573.1 от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Направление подготовки
(специальность) [1] 22.03.01 Материаловедение и технологии
материалов

Семестр	Трудоемкость, кредит.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	3	108	32	0	16		15-24	0	Э
Итого	3	108	32	0	16	8	15-24	0	

АННОТАЦИЯ

В настоящем курсе изучаются теоретические основы взаимодействия различных видов излучения (нейтроны, электроны, ионы, гамма кванты) с веществом для случаев классического, релятивистского и квантового взаимодействий. Основная цель дисциплины - ознакомление студентов с современными физическими представлениями о процессах взаимодействия высокоэнергетических частиц с кристаллическими твердыми телами и с основными закономерностями изменения характеристик взаимодействующих частиц и радиационной повреждаемости твердого тела.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- 1) изучение основных закономерностей упругого взаимодействия двух частиц для классического, релятивистского и квантового случаев взаимодействия;
- 2) рассмотрение кооперативных эффектов при рассеянии классических и квантовых частиц;
- 3) действие облучения на твердые тела (образование радиационных дефектов и каскада атомных столкновений)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются: изучение основных закономерностей упругого взаимодействия двух частиц для классического, релятивистского и квантового случаев взаимодействия; рассмотрение кооперативных эффектов при рассеянии классических и квантовых частиц; действие облучения на твердые тела (образование радиационных дефектов и каскада атомных столкновений).

Основной целью дисциплины является освоение студентами современных физических представлений о процессах взаимодействия высокоэнергетических частиц с кристаллическими твердыми телами и с основными закономерностями изменения характеристик взаимодействующих частиц и радиационной повреждаемости твердого тела.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин, в частности: математика - математический анализ, векторный и тензорный анализ, интегральные уравнения; математика - аналитическая геометрия, линейная алгебра, теория вероятностей и математическая статистика; математика - обыкновенные дифференциальные уравнения, теория функций комплексного переменного; физика - механика, статистическая физика, квантовая механика; химия элементов и соединений.

Данная дисциплина является базой для изучения специальных дисциплин «Функциональные и конструкционные материалы», «Получение и обработка металлов и соединений», «Реакторные материалы», «Физические методы исследования» «Методы исследования реакторных материалов», «Наноматериалы и нанотехнологии».

Знание ее содержания необходимо при выполнении работ по курсовому проектированию, научно-исследовательской работы, а также при практической работе выпускников.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
			научно-исследовательский
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	ПК-1.2 [1] - способен применять знания об основных типах современных материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1.2[1] - знать основные типы современных материалов, а также подходы к выбору материалов для заданных условий эксплуатации; У-ПК-1.2[1] - уметь выбрать материал для заданных условий эксплуатации; В-ПК-1.2[1] - владеть основными подходами при выборе материалов для заданных условий эксплуатации
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных	ПК-2 [1] - способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями <i>Основание:</i> Профессиональный	З-ПК-2[1] - знать основные представления о структуре материалов и влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями ; У-ПК-2[1] - уметь анализировать

	материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	стандарт: 40.011	влияние структуры материалов на их свойства, а также ее эволюцию при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; В-ПК-2[1] - владеть практическими навыками анализа эволюции структурно-фазового состояния материалов при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями и влияния этой эволюции на свойства материалов.
--	---	------------------	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и

		проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований,

		исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (В24)	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирование личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой</p>

			системы безопасности ядерно-физических объектов.
			4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>7 Семестр</i>							
1	Раздел 1	1-6	12/0/6		20	КИ-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Раздел 2	7-12	10/0/6		20	КИ-12	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
3	Раздел 3	13-	10/0/4		25	КИ-16	3-ПК-1.2,

		16				У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/16		65	
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр			35	Э	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	0	16
1-6	Раздел 1	12	0	6
1 - 2	Границы применимости классического, квантового и релятивистского случая взаимодействия Границы применимости классического, квантового и релятивистского случая взаимодействия. Классическое упругое взаимодействие двух тел. Связь передаваемой энергии с углом рассеяния. Максимально передаваемая энергия.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	0
3 - 4	Общее решение задачи об упругом рассеянии частиц на атомах Общее решение задачи об упругом рассеянии частиц на атомах. Аналитические выражения для сечения рассеяния на простых потенциалах.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	0
5 - 6	Приближенное описание рассеяния Приближенное описание рассеяния. Истинные и подгоночные (приближенные) потенциалы. Приближения для рассеяния на большие и малые углы. Релятивистское описание рассеяния.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	0
7-12	Раздел 2	10	0	6
7 - 9	Влияние кристаллической решетки на процессы взаимодействия Влияние кристаллической решетки на процессы взаимодействия. Классическое рассеяние быстрых частиц	Всего аудиторных часов 6 Онлайн 0	0 3 0	0

	упорядоченной системой атомов. Описание канализации в приближении непрерывного потенциала. Эффект блокировки.			
10 - 12	Дефектообразование при малых энергиях ПВА Дефектообразование при малых энергиях ПВА. Элементарные механизмы образования пары Френкеля. Фокусировка (простая и дополнительная). Фокусоны и динамические краудоны. Анизотропия дефектообразования. Пороговая энергия смещения.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 3 0 0	
13-16	Раздел 3	10	0	4
13 - 15	Каскадная функция Каскадная функция. Элементарная модель каскада (Кинчина-Пиза). Количественная характеристика радиационного повреждения. TRN -стандарт. Стадии развития каскада. Модель линейных каскадов Зигмунда. Затухание кинетической компоненты. Разреженные и плотные каскады. Заключительная стадия развития каскада. Законы сохранения. Тепло- и массоперенос. Описание эволюции в приближении сплошной среды. Распределение плотности, давления и температуры. Конечное распределение повреждения по объему каскада.	Всего аудиторных часов 6 Онлайн 0	0 4 0	
16	Обзорная лекция Обзорная лекция. Неупругое рассеяние.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 0 0	

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
	Лабораторная работа №1 Моделирование прохождения высокоэнергетической частицы через простую квадратную решетку.
	Лабораторная работа №2 Вычисление дифференциальных сечений рассеяния для классической задачи взаимодействия двух тел.
	Лабораторная работа №3 Моделирование плотного каскада атомных столкновений в гидродинамическом

приближении.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы учебной дисциплины используются различные образовательные технологии: занятия проводятся в форме лекций и лабораторных работ.

Лабораторные работы охватывают основные разделы учебного курса и проводятся фронтально. Им предшествует чтение лекций по тематике последующих лабораторных работ.

Для контроля усвоения студентом разделов данного курса используются тестовые технологии, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса.

Студенты выполняют Домашнее Задание. Темы домашнего задания дается с учетом задания на НИРС, выполняемого студентом в научной группе. В процессе подготовки ДЗ установлен дистанционный диалог «студент-преподаватель» по интернету с разбором ошибок по разделам ДЗ.

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам и лабораторным работам, обработку данных и оформлением отчетов по лабораторным работам, а так же выполнение домашнего задания с использованием персональных компьютеров.

В рамках выполнения самостоятельной работы студенты должны участвовать в научных семинарах кафедры по тематике учебной дисциплины, проводимых специалистами и экспертами отрасли.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12, КИ-16
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12, КИ-16
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12, КИ-16
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12, КИ-16
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12, КИ-16
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.3 Методы исследования структурно-фазового состояния материалов, , Москва: МИФИ, 2008
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.4 Физические основы прочности. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 Л42 Взаимодействие излучения с твердым телом и образование элементарных дефектов : , Лейман К., М.: Атомиздат, 1979
2. 621.039 Ж86 Каскады атомных столкновений в металлах : Учеб. пособие, Жуков В.П., М.: МИФИ, 1990

3. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2024

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Пакет программ Microsoft Office (Б-108)

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. <http://www.scopus.com> ()

2. <http://elibrary.ru> ()

3. <http://library.mephi.ru> ()

4. <http://www.journals.elsevier.com/> ()

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Компьютерный центр кафедры "Физические проблемы материаловедения" (Б-108)

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При рассмотрении студентами материала введения особое внимание следует уделить общим характеристикам описания процесса взаимодействия излучение - твердое тело (поток и флюенс частиц, угол рассеяния, передаваемая энергия, дифференциальное и полное сечения рассеяния, характеристики длины свободного, полного и проективного пробегов и т.д.), понятию их физического смысла.

При изучении темы 1 необходимо сделать акцент на определении границ применимости классического, квантового и релятивистского случаев взаимодействия (условия и критерии); применении законов сохранения энергии и импульса к описанию упругих столкновений двух тел при классическом (нерелятивистском) случае описания взаимодействия; анализе импульсных диаграмм рассеяния и определении максимальной энергии, передаваемой в столкновениях частиц.

При рассмотрении темы 2 необходимо понять условия выбора истинного и приближенного потенциалов взаимодействия, виды и аналитическое представление потенциалов ионо-ионного взаимодействия, разобрать методы приближенного решения классической задачи взаимодействия частиц. Сделать акцент на особенностях передачи максимальной кинетической энергии в релятивистском случае.

При изучении кооперативные эффекты при рассеянии частиц следует уделить особое внимание эффекту канализирования, условиям для осуществления канализирования и особенностям канализирования для частиц, первоначально находящихся в узлах кристаллической решетки, и рассмотрению эффекта блокировки.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В настоящем курсе изучаются теоретические основы взаимодействия различных видов излучения (нейтроны, электроны, ионы, гамма кванты) с твердым телом для случаев классического, релятивистского и квантового взаимодействий. Рассматриваются закономерности парных столкновений, влияние кристаллической решетки на характеристики рассеяния, физические процессы, происходящие в материалах при бомбардировке высокоэнергетическими частицами, и образование радиационных дефектов в твердом теле при облучении.

Лабораторный практикум:

Работа 1. Моделирование прохождения высокоэнергетической частицы через простую квадратную решетку.

Работа 2. Вычисление дифференциальных сечений рассеяния для классической задачи взаимодействия двух тел.

Работа 3. Моделирование плотного каскада атомных столкновений в гидродинамическом приближении.

Автор(ы):

Воскобойников Роман Евгеньевич

Рецензент(ы):

А.Г. Залужный