

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

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО
ВЕЩЕСТВА (NEUTRON METHODS OF STUDY IN CONDENSED MATTER PHYSICS)**

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
2	3	108	15	15	0		42	0	Э
Итого	3	108	15	15	0	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются физические предпосылки использования нейтронных методов исследования в физике твердого тела. Приводится описание источников нейтронов для исследовательских целей, а также основные типы приборов, применяемые в исследованиях.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение нейтронных методов исследований в физике конденсированного состояния.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина может читаться параллельно физике твердого тела либо позже.

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			
Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов.	Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследований	ПК-2.6 [1] - Способен анализировать научнотехническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-2.6[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научнотехнической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения; У-ПК-2.6[1] - Уметь: проводить поиск,

			<p>анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей;</p> <p>В-ПК-2.6[1] - Владеть: навыками поиска и анализа научнотехнической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации</p>
<p>участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в обобщении</p>	<p>природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-</p>	<p>ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p>	<p>З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или)</p>

<p>полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты;</p>	<p>экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.</p>	<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.</p>
<p>создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и</p>	<p>природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать методики оценки и выбора методов исследования.; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать применяемые методики и методы исследования; В-ПК-2[1] - Владеть навыками оценки методов исследования по выбранным критериям.</p>

<p>аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>	<p>также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.</p>		
<p>производственно-технологический</p>			
<p>- квалифицированное использование исходных данных, материалов, оборудования, методов математического и физического моделирования производственно-технологических процессов и характеристик наукоемких технических устройств и объектов, включая использование алгоритмов и программ расчета их параметров</p>	<p>природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен проводить математическое и компьютерное моделирование объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знать основные методы и принципы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области. ; У-ПК-9[1] - Уметь применять методы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области; В-ПК-9[1] - Владеть навыками математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений</p>
<p>экспертно-аналитический</p>			
<p>сбор и обработка научной и аналитической информации с</p>	<p>природные и социальные явления и процессы, объекты техники,</p>	<p>ПК-10 [1] - Способен к построению аналитических и количественных</p>	<p>З-ПК-10[1] - Знать основные методы построения аналитических и</p>

использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий;	технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	моделей процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	количественных моделей процессов в природе, технике и обществе. ; У-ПК-10[1] - Уметь применять методы и принципы построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе для решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера; В-ПК-10[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера
---	---	---	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, 3-ПК-1,

							У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
2	Часть 2	9-15	7/7/0		25	КИ-15	З-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	З-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10

* – 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>2 Семестр</i>	15	15	0
1-8	Часть 1	8	8	0
1 - 2	Тема 1. Физические предпосылки использования нейтронов в физике твердого тела. История открытия нейтрона и применения нейтронных методов в физике твердого тела. Основные понятия физики конденсированного состояния Кристаллические структуры. Прямая и обратная решетка. Квазичастицы и элементарные возбуждения в конденсированных средах. Методы исследования квазичастиц	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	Тема 2. Методические основы нейтронной спектроскопии. Особенности взаимодействия нейтронов с веществом, по отношению к другим видам проникающего излучения. Физические задачи, решаемые с помощью рассеяния нейтронов. Общие основы нейтронной методики. Источники нейтронов для исследовательских целей: стационарные и импульсные – особенности и отличия. Формирование нейтронных пучков. Детектирование нейтронов.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 8	Тема 3. Основные типы приборов, применяемых в нейтронных исследованиях по физике конденсированного состояния вещества. Структурная и магнитная нейтронная дифрактометрия. Экспериментальная техника. Нейтронная спектроскопия. Приборный парк современных нейтронных центров. Основы техники эксперимента на спектрометрах по времени пролета. Трехосный кристаллический спектрометр: универсальный инструмент исследования спектров элементарных возбуждений кристаллов. Нейтронная спектроскопия с высоким энергетическим разрешением.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	7	7	0
9 - 11	Тема 4. Использование нейтронов для изучения атомных колебаний. Определение функции плотности фононных состояний в веществе. Исследования дисперсионных кривых для фононов в кристаллах. Фононы в металлах и сверхпроводниках. Электрон-фононное взаимодействие.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	Тема 5. Использование нейтронов для исследований по динамике магнитного момента в различных материалах. Спектроскопия магнитных возбуждений в магнитоупорядоченных и парамагнитных средах. Магнитный форм-фактор. Физические задачи, решаемые с помощью поляризованных нейтронов. Методы разделения	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	ядерной и магнитной составляющей в экспериментальных нейтронных спектрах. Возможности изучения эффектов кристаллического электрического поля в металлических системах.			
14 - 15	Тема 6. Перспективы и направления развития нейтронных методов в физике твердого тела. Использование рассеяния нейтронов для исследования систем с сильными электронными корреляциями. Тяжелые фермионы, нестабильная валентность, необычная сверхпроводимость, магнетизм пониженной размерности. Основные направления развития нейтронных методов исследования вещества. Совершенствование экспериментальной базы. Комплиментарность с другими методами.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия и самостоятельная работа студентов, заключающаяся в изучении пройденного материала и подготовке к письменным тестам. Для того чтобы дать современное состояние физики нейтронных исследований, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме. Рекомендуются посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

6. 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	3-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15

	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2.6	З-ПК-2.6	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.6	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.6	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15

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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69			3 – «удовлетворительно»
60-64	F		
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и

навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Т 19 Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства сталей и сплавов отечественных ядерных реакторов : учебное пособие, Науменко И. А. [и др.], Москва: Физматлит, 2020
2. 621.039 С29 Кинетика реакторов на быстрых нейтронах : , Селезнев Е.Ф., Москва: Наука, 2013
3. 539.1 Д40 Нейтронные исследования конденсированных сред : учебное пособие, Львов Д.В., Джепаров Ф.С., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. 53 А47 Нейтронные методы в физике конденсированного состояния : учебное пособие для вузов, Менушенков А.П., Алексеев П.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. ЭИ Б 25 Основы цифровой рентгеновской и нейтронной радиографии : учеб. пособие, Микеров В.И., Юрков Д.И., Бармаков Ю.Н., Москва: Эдитус, 2022
6. ЭИ Р 98 Прикладная нейтронная физика Часть 2 Взаимодействие нейтронов с веществом, Рябева Е.В., : ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 Б 25 Введение в компьютерную рентгеновскую и нейтронную томографию : учеб. пособие, Микеров В.И., Юрков Д.И., Бармаков Ю.Н., Москва: Буки Веди, 2018
2. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч., М.: МедиаСтар, 2006
3. 621.039 В 58 Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства сталей и сплавов отечественных ядерных реакторов : , Можанов Е.М. [и др.], Москва: Физматлит, 2020
4. 539.1 Ф 83 Вопросы оптики длинноволновых нейтронов : , Франк А.И., Дубна: ОИЯИ, 2022
5. 539.1 Г95 Диффузия и замедление нейтронов : Учеб. пособие, Протасов В.П., Гуревич И.И., М.: МИФИ, 1986
6. 539.1 Г95 Нейтронная физика : Учеб.пособие для вузов, Протасов В.П., Гуревич И.И., М.: Энергоатомиздат, 1997

7. ЭИ Б 28 Нейтронные методы элементного анализа : лабораторный практикум, Каретников М.Д., Зверев В.И., Батяев В.Ф., Москва: Буки Веди, 2020
8. 539.2 Б 25 Основы цифровой рентгеновской и нейтронной радиографии : учеб. пособие, Микеров В.И., Юрков Д.И., Бармаков Ю.Н., Москва: Эдитус, 2022
9. ЭИ Р 98 Прикладная нейтронная физика Часть 1 Источники нейтронов, Рябева Е.В., Москва: Буки Веди, 2021
10. 539.1 Р 98 Прикладная нейтронная физика Часть 1 Источники нейтронов, Рябева Е.В., Москва: Буки Веди, 2021
11. 539.2 Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Троян В.И. [и др.], Москва: МИФИ, 2008
12. ЭИ Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Троян В.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. сайт кафедры №70 НИЯУ МИФИ (<http://kaf70.mephi.ru/>)

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При освоении дисциплины предполагается, что студенты знакомы с содержанием таких курсов, как уравнения математической физики, квантовая механика, атомная физика, ядерная физика, спектроскопия, физика твердого тела, электротехника и электроника, взаимодействие излучения с веществом.

Программой курса предусмотрено, что студент должен освоить основные понятия и закономерности, относящиеся к физическим явлениям, лежащим в основе использования нейтронного излучения в современном физическом эксперименте. Курс должен помочь студенту научиться использовать полученные теоретические знания для описания и оценочных расчетов реальных процессов.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При освоении дисциплины предполагается, что студенты знакомы с содержанием таких курсов, как уравнения математической физики, квантовая механика, атомная физика, ядерная физика, спектроскопия, физика твердого тела, электротехника и электроника, взаимодействие излучения с веществом.

Программой курса предусмотрено, что студент должен освоить основные понятия и закономерности, относящиеся к физическим явлениям, лежащим в основе использования нейтронного излучения в современном физическом эксперименте. Курс должен помочь студенту научиться использовать полученные теоретические знания для описания и оценочных расчетов реальных процессов.

Автор(ы):

Алексеев Павел Александрович, д.ф.-м.н., доцент